

TEKNILLINEN KORKEAKOULU

Rakennus- ja ympäristötekniikan osasto

ILMO HYYPPÄ

HILJAISET PÄÄLLYSTEET SUOMESSA

Diplomityö, joka on tehty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten

Espoossa 22.10.2002

Valvoja: Professori Esko Ehrola

Ohjaaja: Tieinsinööri Mats Reihe

TEKNILLINEN KORKEAKOULU Rakennus- ja ympäristötekniikan osasto		DIPLOMITYÖN TIIVISTELMÄ
Tekijä:	Ilmo Hyyppä	
Diplomityön nimi:	Hiljaiset päällysteet Suomessa	
Päivämäärä:	22.10.2002	Sivumäärä: 139
Osasto:	Rakennus- ja ympäristötekniikan osasto	
Professuuri:	Tietekniikka	Koodi: Yhd-10
Työn valvoja:	Professori Esko Ehrola	
Työn valvoja:	Tieinsinööri Mats Reihe	
<p>Tieliikenteen aiheuttamaa melua pidetään nyky-yhteiskunnassa vakavana ongelmana. Sekundäärinen suojarakenteisiin perustuvan meluntorjunnan ohella on viime vuosina pyritty etsimään keinoja myös melun lähtötason laskemiseksi. Hiljaiset päällysteet ovat tästä erinomainen esimerkki.</p> <p>Hiljaisilla päällysteillä tarkoitetaan tässä tutkimuksessa kaikkia niitä päällysteitä, joiden toiminnallisella suhteituksella on pyritty tavanomaisia, yleisesti käytettyjä päällysteitä alhaisempaan rengasmelutasoon.</p> <p>Tämän tutkimuksen tavoitteena on ollut kerätä hiljaisiin päällysteisiin liittyvää tietoutta, selvittää niiden ominaisuuksien kannalta keskeisiä mittaussuhteita ja ennen kaikkea koota yhteen Suomessa tehtyjen tutkimusten tuloksia.</p> <p>Tutkimus perustuu pääasiassa erilaisiin kirjallisuusselvityksiin ja tutkimustulosten tarkasteluihin. Karkeasti työ jakautuu kolmeen osaan:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Rengasmelu ja sen mittaaminen2. Päällysteen kuluminen ja sen mittaaminen3. Hiljaisten päällysteiden tutkimukset ja tulosten tarkastelu <p>Lisäksi osana työtä on arvioitu hiljaisten päällysteiden taloudellisuutta, tarkasteltu vaihtoehtoisia meluntorjuntaratkaisuja sekä selvitetty näkemyksiä hiljaisten päällysteiden tulevaisuudesta.</p> <p>Tutkimustulosten perusteella hiljaisilla päällysteillä saavutetaan jopa 10 desibeliä tavanomaisia päällysteitä alhaisempi rengasmelumelutaso. Vastaavasti hiljaisten päällysteiden ongelma on edelleen huonohko kulutuskestävyys. Käyttökokemukset ovat kuitenkin vielä melko vähäisiä ja tuotekehityksellä voidaan jo nyt havaita saavutetun merkittäviä tuloksia.</p> <p>Tulevaisuudessa huoli tieliikenteen aiheuttamien meluhaittojen kasvusta tulee varmasti pitämään yllä kiinnostuksen hiljaisiin päällysteisiin kohtaan. Hiljaisten päällysteiden yleistymiselle Suomessa ei näyttäisi olevan varsinaisia esteitä.</p>		
Avainsanat: hiljainen päällyste, melu, kuluminen		Kieli: suomi

HELSINKI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY Department of Civil and Environmental Engineering		ABSTRACT OF THE MASTER'S THESIS
Author:	Ilmo Hyypä	
Name of the Thesis:	Noise Reducing Pavements in Finland	
Date:	22.10.2002	Number of Pages: 139
Faculty:	Civil and Environmental Engineering	
Professorship:	Laboratory of Highway Engineering	Code: Yhd-10
Supervisor:	Professor Esko Ehrola, D.Sc. (Tech.)	
Instructor:	Mats Reihe, M.Sc. (Tech.)	
<p>Nowadays traffic noise is considered as a serious problem. Traditionally noise protection has mainly been based on different kinds of noise barriers. However, in past few years there has also been an aspiration to discover means which decrease the initial level of traffic noise. The noise reducing pavements can be regarded as a great example of that.</p> <p>In this thesis the term <i>noise reducing pavement</i> is used for all pavements designed to achieve lower tyre noise level than the one of conventionally used pavements.</p> <p>The aim of this thesis has been to gather knowledge about noise reducing pavements and clear up the considerable measuring methods of their properties. In addition to that the aim has also been to collect results from the trials made in Finland. Roughly speaking the thesis consists three different parts:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Tyre noise and its measuring2. Wearing and its measuring3. Trials made in Finland <p>Beside these three main topics also the economical aspects and the alternative solutions of noise protection have been discussed. Furthermore the future of the noise reducing pavements has been studied as well.</p> <p>According to test results even 10 dB lower tyre noise level can be reached by using the noise reducing pavements, especially in the very beginning. Correspondingly the problem of the noise reducing pavement is quite poor wearing properties. Practical experiences of those pavements are still fairly rare. However, by means of research and development remarkable improvements have already been gained.</p> <p>In the future the care of the increase of noise caused by traffic will certainly keep the interest in the noise reducing pavements. There should not be any actual obstacles for the noise reducing pavements to become more frequent in Finland.</p>		
Keywords: noise reducing asphalt, noise, wearing		Language: Finnish

ALKUSANAT

Tämä työ on tehty Teknillisen korkeakoulun tielaboratoriossa vuoden 2002 aikana. Työn valvojana on toiminut professori Esko Ehrola ja ohjaajana tieinsinööri Mats Reihe Tiehallinnosta.

Tarina alkaa vuoden 1999 syksystä. Neljännen vuosikurssin teekkari oli tyytyväinen. Tutkimusapulaisten pesti lämmitti mieltä ja kuulamyly pyöri. Eräänä päivänä kellariin ilmestyi Valtosen Jarkko, joka suu leveässä hymyssä kantoi sisään multaämpäreitä ja totesi: "Ilmo, se on Kehä kolmosella nyt äs-äm-aa vitosta." Ja minähän kiinnostuin välittömästi...

Nyt kolme vuotta myöhemmin on kiitoksen aika. Haluan kiittää työni valvojaa professori Esko Ehrolaa ja ohjaajaa Mats Reiheä arvokkaista kommentteista ja kärsivällisyydestä. Professori Olli-Pekka Hartikainen ansaitsee myös kiitoksen.

Haluan kiittää koko tielaboratorion väkeä, niin nykyisiä kuin entisiäkin työkavereita. Jokainen Teistä on kiitoksen arvoinen. Erityiskiitos on kuitenkin osoitettava yliassistentti Jarkko Valtoselle luottamuksesta ja paljosta muusta.

HILJA-projektin johtoryhmä, Panu Sainio ja monet muut hiljaisten päällysteiden merkeissä tapaamani ihmiset, olette jokainen kiitoksenne ansainneet.

Lämpimät kiitokseni kuuluvat myös vanhemmilleni, Kaisalle ja Päivin vanhemmille.

Lopuksi kiitos Päiville osoittamastasi rakkaudesta. Ottoa kiitän piristävistä lenkeistä ja hännän heilutuksista. Tätä kirjaahan et sitten syö?

Espoossa 22.10.2002



Ilmo Hyyppä

TERMIT JA KÄYTETYT LYHENTEET

AA	Avoim asfaltti
Aallonpituus	Aallon pituus vaiheesta takaisin samaan vaiheeseen
AB	Asfalttibetoni
ABE	Epäjatkua asfalttibetoni
Absorptio	Imeytyminen
Absorptiokerroin	Imeytymisen ja heijastuksen välinen suhde
Adheesio	Molekyylien tarttuminen toisiinsa
Amplitudi	Värähtelyn ääripisteiden etäisyys toisiinsa
A-painotus	Korvan kuuloaistimukseen perustuva äänenpainetaso korjaus
ASTO	Asfalttipäällysteiden tutkimusohjelma
A-suodatin	A-painotuksessa käytettävä jatkuva taajuus / äänenpainetaso -käyrä
CB	Coast-by, rullausmenetelmä
CPB	Controlled Pass-by, kontrolloitu ohiajomenetelmä
CPX	Close-Proximity, vaunumittausmenetelmä
Deformaatio	Muodonmuutos
Desibeli	Äänenpaineen yksikkö (logaritminen)
Diskonttaus	Tulevaisuudessa koituvan kustannuksen muuttaminen nykyarvoiseksi sisäistä korkokantaa käyttäen
DR	Laboratory Drum, laboratoriorumpumenetelmä
Ekvivalenttimelutaso	Tietyn ajanjakson keskimääräinen melutaso
Elinkaarikustannus	Aiheutuva kustannus käytöstäpoistamiseen asti
Etäisyysvaimennus	Vaimeneminen etäisyyden funktiona
Graafinen oikolauta	Viivain, jota käytetään oikean oikolaudan omaisesti määritettäessä urasyvyyttä graafisesti
Gradientti	Kulmakerroin lineaarisesti toisistaan riippuvien suureiden välillä
HILJA	Hiljaisten päällysteiden tutkimusprojekti
Hiljainen päällyste	Päällyste, jonka suhteituksessa on pyritty tavanomaista päällystettä alhaisempaan melutasoon
INFRA-teknologiaohjelma	Tekesin rahoittama infra-alan tutkimusohjelma
Korrelaatio	Vastaavuus- tai riippuvuussuhde

Kuulamylykoe	Kiviaineksen kestävyyttä määrittävä laboratoriokoe
KVL	Keskimääräinen vuorokausiliikenne
LA, eq	A-painotettu ekvivalenttimelutaso
LA, max	A-painotettu maksimimelutaso
LA, min	A-painotettu minimimelutaso
Lämpötilakorjaus	Tuloksen muuttaminen referenssilämpötilaan
Nykyarvo	Tulevaisuudessa koituvan kustannuksen arvo nykyhetkellä
Oikolauta	Päällysteen urasyvyyden määrittämisessä käytettävä kolmen metrin pituinen suora lauta
PANK	Päällystealan neuvottelukunta
PM10-hiukkanen	Keuhkoihin kulkeutuva hiukkanen
Prall	Päällysteen nastarengaskulumista määrittävä laboratoriolaite
Profiili	Kaistan poikkisuuntainen muoto
Profilometri	Kaistan poikkiprofilin määrittävä yleensä lasermitaukseen perustuva kenttämittaustilaite
Referenssipäällyste	Vertailupäällyste
Referenssirengas	Rengaskokeissa käytettävä ominaisuuksiltaan määriteltä rengas
REM+	Päällystysmenetelmä, jossa vanha päällyste kuuma- jyrsitään ja levitetään takaisin tielle ja päälle levitetään uusi pintakerros
Sand patch	Päällysteen makrokarkeutta määrittävä ns. lasihelmimenetelmä
SMA	Kivimastiksiasfaltti
SPB	Statistical Pass-by, tilastollinen ohiajomittausmenetelmä
Taajuusspektri	Taajuusjakauma
Tavanomainen päällyste	Tyypillisesti käytetty päällyste
TCB	Trailer Coast-by, trailerirullausmittausmenetelmä
TEKES	Teknologian kehittämiskeskus
TINO	Kansainvälinen ajoneuvojen, renkaiden ja päällysteiden melua käsitellyt tutkimus
TRL	Transport Research Laboratory (Englanti)
TRRL	TRL:n aikaisempi lyhenne
Tröger	Päällysteen kulumiskestävyyttä määrittävä laboratoriolaite

Täysmittakaavalaboratoriokoe	Todellisessa mittakaavassa tehty koe
Urautuminen	Päällysteen poikkiprofiilin muutos, joka aiheutuu deformaation ja nastarengaskulumisen yhteisvaikutuksesta
VTI	Väg- och transportforskningsinstitutet (Ruotsi)
VTT	Valtion teknillinen tutkimuskeskus
Yhteiskuntataloudellinen	Yhteiskunnalle aiheutuvat kustannukset huomioiva

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO.....	10
2 HILJAISET PÄÄLLYSTEET	11
2.1 YLEISTÄ.....	11
2.2 ENSIMMÄISET KOKEILUT SUOMESSA.....	12
2.3 HAVAITUT EDUT JA ONGELMAT.....	14
2.4 KEHITTÄMISTARVE.....	17
3 RENGASMELU	19
3.1 YLEISTÄ.....	19
3.2 RENGASMELUN SYNTY	27
3.3 RENGASMELUUN VAIKUTTAVAT PÄÄLLYSTEEN OMINAISUUDET	32
3.4 RENGASMELUUN VAIKUTTAVAT RENKAAN OMINAISUUDET.....	40
4 RENGASMELUN MITTAAMINEN.....	42
4.1 YLEISTÄ.....	42
4.2 CB- JA CPB-MENETELMÄT	44
4.3 SPB-MENETELMÄ.....	45
4.4 CPX-MENETELMÄ	50
5 PÄÄLLYSTEIDEN KULUMINEN.....	54
5.1 YLEISTÄ.....	54
5.2 KULUMISEEN VAIKUTTAVAT PÄÄLLYSTEEN OMINAISUUDET	55
5.3 PÄÄLLYSTEEN KULUMISEN VAIKUTUKSET.....	59
6 KULUMISOMINAISUUKSIEN MITTAUSMENETELMÄT	60
6.1 YLEISTÄ.....	60
6.2 LABORATORIOLAITTEET	60
6.3 MAASTOMITTAUKSET.....	64
7 MELU- JA KULUMISOMINAISUUKSIEN TUTKIMUKSET	69
7.1 YLEISTÄ.....	69
7.2 KEHÄ III:N MELUKOETIE.....	69
7.3 MELUMITTAUKSET; KORSO, KAIVOKSELA JA LEPPÄVAARA.....	73
7.4 KULUMISMITTAUKSET; KORSO JA VALLIKALLIO.....	78
7.5 HILJA-PROJEKTI.....	81
7.5.1 YLEISTÄ	81
7.5.2 MERIPELLONTIE, HELSINKI	82
7.5.3 KAARINATIE, KAARINA	94
7.5.4 POHJOINEN OHIKULKUTIE, KOKKOLA	101
7.6 TUTKIMUSTULOSTEN TARKASTELU.....	111
8 HILJAISTEN PÄÄLLYSTEIDEN TALOUDELLISUUS	115
8.1 YLEISTÄ.....	115
8.2 KUSTANNUSVERTAILUJA.....	116

8.3 VAIHTOEHTOISET MELUNTORJUNTARATKAISUT 119

9 KYSELY HILJAISISTA PÄÄLLYSTEISTÄ 127

10 YHTEENVETO..... 134

KIRJALLISUUSLUETTELO..... 137

1 JOHDANTO

Melua pidetään nyky-yhteiskunnassa vakavana ongelmana. Samanaikaisesti meluvas-
taisten asenteiden ja aidon ympäristöstä huolehtimisen lisääntyessä ovat myös melu-
haitat lisääntyneet. Haittoja ovat lisänneet väestön kasvu, kaupungistuminen, teollis-
tuminen ja tekninen kehitys sekä erityisesti liikenteen jatkuva kasvu. Yksinomaan pää-
kaupunkiseudulla arvioidaan noin 225 000 ihmisen asuvan alueilla, joilla melutaso ylit-
tää päiväsaikaan 55 desibelin ohjearvon.

Yhdyskuntamelun suurin lähde on liikenne, etenkin tieliikenne. Tieliikenteen melu
koostuu useiden ajoneuvojen yhteisvaikutuksesta, mutta myös yksittäisten ajoneuvojen
aiheuttama melu voi olla varsin haitallista, varsinkin yöaikaan. Meluhaitat havaitaan
unen laadun heikkenemisenä, terveydellisinä vaikutuksina sekä erilaisina kommunikaatio-
ja keskittymisvaikeuksina. Melun kokeminen on varsin yksilöllistä. Suurimpia ris-
kiryhmiä ovat lapset ja vanhukset.

Tieliikenteen melu koostuu pääasiassa rengas-tie -kosketuksessa aiheutuvasta melusta,
moottorin äänistä sekä erilaisista ilmapvirtauksen aiheuttamista äänistä. Kokonaisuute-
na tieliikenteen melutasoon vaikuttavat ajoneuvojen nopeus, liikennemäärä ja raskai-
den ajoneuvojen osuus. Aiemmin tieliikenteen meluntorjunta perustui lähes yksin-
omaan maankäytöllisiin sekä liikenne- ja tiesuunnittelullisiin keinoihin. Sittenkin yh-
dyskuntarakenteen tiivistyessä ja liikennesuoritteen kasvaessa on tehtyjä ratkaisuja
pyritty korjaamaan melueterakentein. Melueterakenteet ovat kuitenkin toissijainen
meluntorjuntakeino. Ensisijaisesti melua tulisi torjua aina kohdistamalla toimet melu-
lähteen vaimentamiseen. Tästä hiljaiset päällysteet ovat erinomainen esimerkki.

Ensimmäisen kerran päällysteiden melutasoa tutkittiin Suomessa vuonna 1981. Myö-
hemmin 80- ja 90-luvulla tehtiin muutamia yksittäisiä tutkimuksia ja kokeita. Kuiten-
kin vasta vuonna 1999 kiinnostus hiljaisiin päällysteisiin virisi toden teolla kansainvä-
lisen TINO-projektin myötä. Kehä III:lla tehtyjen ensimmäisten kokeilujen tulokset
eivät kuitenkaan olleet voimakkaan nastarengaskulumisen vuoksi kovinkaan rohkaise-
via. Hiljaisille päällysteille mitattiin kuitenkin niin alhaisia rengasmelutasoja, että
kiinnostus niihin säilyi. Toisaalta myös usko hiljaisten päällysteiden kulumisominais-
suuksien paranemiseen oli kova. Selvää kuitenkin oli, että tuotekehitystä ja tutkimusta
tarvittaisiin. Niinpä ryhdyttiin käynnistämään laajaa hiljaisten päällysteiden tutkimus-
projektia. Tämä HILJA:ksi nimetty tutkimuskokonaisuus käynnistyi vuonna 2001.

Tämän työn tavoitteena on kerätä hiljaisiin päällysteisiin liittyvää tietoutta, selvittää
niiden ominaisuuksien mittausten menetelmiä ja koota yhteen Suomessa tehdyistä kokeista
saatuja tuloksia. Aiheen laajuuden vuoksi tarkastelun ulkopuolelle on jätetty ulkomais-
ten tutkimusten tulokset. Nastarengaiden käytön vuoksi monet ulkomaisissa kokeissa
esiintyneet ratkaisut, kuten kumirouheasfaltit, eivät tule sellaisinaan Suomen oloissa
edes kysymykseen. Lisäksi HILJA-projektin osalta työ on rajattu ajallisesti vuoden

2002 kevätkesään. Myöhemmin saatuja tuloksia tullaan käsittelemään projektin raporteissa sekä tekniikan lisensiaatti Nina Raitasen väitöskirjassa. Tämän työn ulkopuolelle niin ikään jätetyt mittaustulosten tilastolliset tarkastelut tullaan esittämään edellä mainituissa yhteyksissä.

Kokonaisuutena tämä työ koostuu pääasiassa kirjallisen aineiston perusteella tehdystä teoriaosasta ja satojen tuntien mittauksilla hankituista tuloksista sekä niiden analysoinnista. Lisäksi hiljaisten päällysteiden tulevaisuutta Suomessa on pyritty selvittämään pienimuotoisella haastattelututkimuksella. Työssä käytetyt rahayksiköt ovat lähdeaineiston mukaisia.

2 HILJAISET PÄÄLLYSTEET

2.1 YLEISTÄ

Minkälaista päällystettä voidaan nimittää ”hiljaiseksi päällysteeksi”? Mihin perustuu päällysteen alhaisempi melutaso? Nämä kaksi kysymystä nousevat keskeisiksi puhuttaessa hiljaisista päällysteistä.

Ensimmäiseen kysymykseen eräänlaisen vastauksen antaa ruotsalaisen VTI:n (Vägoch transportforskningsinstitutet) tutkimusjohtaja Ulf Sandberg. Hänen mukaansa ”hiljaiseksi päällysteeksi” voidaan nimittää päällystettä, jonka A-painotettu melutaso on vähintään 3 desibeliä tavanomaisia päällystetyyppejä hiljaisempi. Tavanomaisina päällystetyyppeinä Ruotsin oloissa Sandberg pitää asfalttibetonia (AB) ja kivimastik-siasfalttia (SMA) maksimiraekoiltaan 11-16 mm. Näiden päällystetyyppien synnyttämä melutaso on likimain riippumaton raekoosta mainitulla maksimiraekokoalueella. /46/ Edellä esitetty määrittely on kuitenkin ongelmallinen erityisesti tavanomaisen päällystetyypin suhteen. Esimerkiksi Suomessa, jossa nastarenkain varustettujen autojen osuus koko liikennevirrasta on talvisin varsin suuri, tavanomaisten päällysteiden maksimiraekokoalueen voidaan katsoa olevan pikemminkin 16-20 millimetriä. Yleinen suuremman maksimiraekoon käyttö käy ilmi myös referenssipäällystevalinnoissa hiljaisten päällysteiden koekohteisiin. Esimerkiksi Teknologian kehittämiskeskuksen TEKESin INFRA-teknologiaohjelmaan kuuluvassa HILJA-tutkimuksessa (Hiljaiset päällysteet, tuotevaatimukset ja mittarit) vuonna 2001 rakennetuista kolmesta koekohteesta yhdessä referenssipäällysteenä on SMA 18 (Pohjoinen ohikulkutie st 749, Kokkola). Kahdessa muussa koekohteessa Meripellontiellä Helsingissä ja yhdystiellä 2200 Kaarinassa referenssipäällyste on SMA 16. Ylipäättään termi ”hiljainen päällyste” on ongelmallinen. Voidaanko päällystettä, jonka rengas-tie-kosketuksessa synnyttämä melutaso on renkaan välittömästä läheisyydestä mitattuna pienimmilläänkin noin 80 dB(A) (CPX 50 km/h) /41/, kutsua ”hiljaiseksi päällysteeksi”? Ristiriita on varsin ilmeinen ja kyseessä onkin vain sopivan ytimekäs ja lyhyt päällystetyypin ominaisuuksia kuvaava termi. Totuudenmukaisemmat termit kuten *vähämeluisampi päällyste* tai *matalampi melutasoinen päällyste* ovat etenkin puhekäytössä hankalampia. Oman perustansa termin

"hiljainen päällyste" käytölle luovat myös ulkomailla käytössä olevat termit *quiet road surface* /7/ ja *lågbullerbeläggning* /31/, joista etenkin ensimmäinen on varsin lähellä *hiljainen päällyste* -termiä. Yksiselitteisyyden vuoksi tässä työssä käytetään edellä mainittua termiä "hiljainen päällyste". Termiä käytetään kaikista niistä päällystetyypeistä ja -tuotteista, joiden toiminnallisessa suhteituksessa on pyritty alhaisempaan melutasoon riippumatta siitä onko Sandbergin määrittelemään 3 dB(A) eroon tavanomaiseen päällystetyyppiin verrattuna päästy.

Toiseen kysymykseen – Mihin perustuu päällysteen alhaisempi melutaso? – on vastauksen antaminen monimutkaisempaa ja asiaa käsitelläänkin perusteellisemmin kappaleessa 3.3. Pääasiassa päällysteen meluominaisuuksiin uskotaan voivan vaikuttaa kahdella tavalla. Maksimiraekokoa pienentämällä ja asfaltin huokoisuutta (avoimuutta) lisäämällä voidaan päällyste suhteittaa vähemmän melua synnyttäväksi. Pienempi maksimiraekoko vähentää renkaan värähtelyjä ja sitä kautta melutasoa. Vastaavasti huokoinen päällyste absorboi eli imee ääniaaltoja tiiviiksi suhteitettua paremmin ja vähentää näin meluemissiota. Lisäksi huokoisessa päällysteessä rengas-tie -kosketuksessa renkaan "pumppaama" ilma pääsee asfaltin sisään, millä lienee myös melutasoa alentava vaikutus. Onkin todettu "hiljaisimman" päällysteen olevan huokoinen ja hienorakeinen. /10,17,21/ Hiljaisten päällysteiden kehitystyö on pitkälti perustunut edellä esitettyihin käsityksiin. Ovatko kehitystyön lähtökohtana olleet käsitykset edes oikeat? Ainakin käsityksen siitä, että karkeampi pinta aiheuttaa aina suuremman melutason, on Sandberg osoittanut tutkimuksissaan vääräksi. /47/

2.2 ENSIMMÄISET KOKEILUT SUOMESSA

Ensimmäinen koetie, jossa rengas-tie-kosketuksessa syntyvää melua mitattiin, rakennettiin **vuonna 1981** Mäntsälään. Koetie sisälsi useita erilaisia päällystetyyppejä. Tässä yhteydessä mielenkiintoisin niistä oli vettäläpäiseväksi suhteitettu päällystetyyppi, joka vastasi nykyisten asfalttinormien avointa asfalttia AA 20. Vertailtaessa kyseistä päällystettä vertailupäällysteeseen AB 20 havaittiin ensiksi mainitun melutaso 1,0...2,4 dB pienemmäksi. Pienin, 1,0 desibelin vähennys melutasoon saavutettiin 70 kilometrin tuntinopeudella moottori käyden. Vastaavasti suurin, 2,4 desibelin vähennys saavutettiin 100 kilometrin tuntinopeudella autolla, jonka moottori oli sammutettu. Lähteistä ei käy ilmi mikrofoniin sijainti mittauksissa. Ilmeisesti mittausmenetelmänä on käytetty ns. CB-menetelmää, jossa mikrofoni sijoitetaan 7,5 metrin etäisyydelle kaistan keskilinjasta 1,2 metrin korkeuteen tien pinnan tasoon nähden. Koepäällysteiden urautumista tutkittaessa havaittiin vettäläpäiseväksi suhteitetun urautuvan noin 20 % vertailupäällystettä enemmän. /3,39/

Vuonna 1983 tutkittiin sirotepintauksen ja AB 25:n meluominaisuuksia ajoneuvon sisältä tehdyin mittauksin. Nopeuden ollessa 80 km/h sirotepintaukselta mitattiin 75,8

dB(A) melutaso. Vastaavalla nopeudella AB 25:n melutasoksi mitattiin 70,9 dB(A). AB 25 oli siis 4,9 dB(A) sirotepintausta hiljaisempi. /3/

Seuraava päällysteiden meluominaisuuksia selvittävä tutkimus toteutettiin ASTO:n (Asfalttipäällysteiden tutkimusohjelma) työryhmän 5 toimeksiannosta **vuosina 1990-1992**. Koeteillä suoritetuista mittauksista kyseisessä tutkimuksessa vastasi VTT:n (Valtion teknillinen tutkimuskeskus) tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorio. Päällysteen melutasoa tutkittiin soveltamalla yksittäisen ajoneuvon ohiajomittausta (CB-menetelmä). Menetelmässä ajoneuvo ohittaa mikrofonin, joka on sijoitettu kuten edellä on kuvailtu (7,5 m ja 1,2 m), moottori sammutettuna. Tässä tutkimuksessa moottoria ei sammutettu, vaan mikrofoni ohitettiin moottori suurimmalle vaihteelle kytkettynä. Mittausnopeuksina käytettiin 50, 70 ja 100 kilometriä tunnissa. Taulukossa 1 on esitetty kootusti valtateillä 3 ja 7 ja maantiellä 1182 sijainneiden koeosuuksien mittaustulosten keskiarvot: /3/

Taulukko 1. ASTO-koeteiden melumittaustulokset /3/

<i>Päällystetyyppi</i>	<i>Melutaso dB(A)</i>		
	50 km/h	70 km/h	100 km/h
AB 20	72,8	76,8	81,5
ABE 20		78,0	81,7
SMA 8	70,4		
SMA 16	71,9	77,5	81,8
SMA 18		77,6	82,6
BET		76,4	80,9

Työn jakautuminen useammalle vuodelle mahdollisti myös nastarenkaiden käytön vaikutuksen tutkimisen. Mittaustulosten perusteella yhden nastarengaskauden aiheuttama melulisäys oli nopeudella 70 km/h 1,7-2,2 dB(A) ja nopeudella 100 km/h 1,8 dB(A).

Espoon Pitkäjärventielle rakennettiin **vuonna 1996** Kuntaliiton ja VTT:n yhteisprojektina koetie. Koetie koostui neljästä osuudesta; AA 18, Novachip, SMA 12 ja SMA 8. Päällysteiden melutasot mitattiin kaksi vuotta rakentamisen jälkeen. Meluntasonsa perusteella päällysteiden järjestys oli pienimmästä alkaen; SMA 8, Novachip, AA 18 ja SMA 12. Pienimmän ja suurimman tuloksen erotus oli 3,5 desibeliä. Lisäksi tutkittiin päällysteiden urautumista; AA 18 kului vähiten ja vastaavasti Novachip eniten. Kuluminen suhteen ero pienimmän ja suurimman välillä oli 2 mm vuodessa. /39/

Espoon Pitkäjärventien jälkeisistä laajamittaisista päällysteiden meluominaisuuksia tarkastelevista tutkimuksista on vastannut Teknillisen korkeakoulun tielaboratorio ja autotekniikan laboratorio. Näiden tutkimusten tuloksia käsitellään luvussa 7.

2.3 HAVAITUT EDUT JA ONGELMAT

Hiljaisten päällysteiden kiistaton etu on alhaisempi melutaso. Ero uuden SMA 16-päällysteen ja meluominaisuuksiltaan hyvän hiljaisen päällysteen välillä voi olla renkaan välittömässä läheisyydessä mitattuna jopa yli 10 dB(A). /41/ Verrattaessa uutta hiljaista päällystettä vanhaan tavanomaiseen asfalttipäällysteeseen ero on vielä suurempi. Tutkimukset ovat osoittaneet, että uusi päällyste on 2...5 dB(A) hiljaisempi kuin vanha. Jos päällysteessä on lisäksi halkeamia, purkautumia, paikkauksia tai vastaavia, nousee melutaso vielä 1...2 dB(A). /10/

Oma lukunsa ovat etenkin kaupunkien keskustoissa asfalttipäällysteiden sijasta käytössä olevat luonnonkivipintaukset, nupu-/noppakivet. Kyseiset päällysteet ovat kieltämättä esteettisesti kauniita, mutta ajomukavuus ja meluominaisuudet ovat huonot. Luonnonkivipintausten melutaso on 7...9 dB(A) tavanomaistakin päällystettä korkeampi. /50/

Hiljaisilla päällysteillä saavutetaan yhteiskuntataloudellisesti varsin merkittävä viihtyvyys melutason laskiessa. Päällysteillä voidaan lisäksi parantaa muiden melusuojausrakenteiden tehoa tai poistaa niiden tarve kokonaan. Joissain paikoissa ei muiden meluntorjuntarakenteiden rakentaminen ole edes mahdollista tilan puutteen tai muiden syiden takia. Hiljaisille päällysteille vaihtoehtoisia meluntorjuntaratkaisuja tarkastellaan lähemmin kappaleessa 8.3.

Ulkoisen melutason lisäksi on syytä muistaa autossa matkustavien viihtyvyys. Hiljainen päällyste havaitaan selvästi ajoneuvossa sisällä ja näin sillä parannetaan muidenkin kuin alueen asukkaiden viihtyisyyttä. Tienkäyttäjät on usein jätetty keskustelun ulkopuolelle, vaikka tämä ryhmä on käytännössä paljon suurempi kuin tien meluvaikutusalueella asuvat, joiden elinolosuhteisiin meluntorjuntatoimenpiteillä pyritään vaikuttamaan. /10/

Yhtä selvästi kuin hiljaisten päällysteiden etu on alhaisempi melutaso, on niiden ongelma heikko kulutuskestävyys. Viitteitä heikosta kulutuskestävyydestä on saatu ensimmäisistä kokeiluista lähtien. Ensimmäisessä Teknillisen korkeakoulun tielaboratorion toteuttamassa kulumistutkimuksessa 1999-2000 osoitettiin SMA 5 -päällysteen kuluvan noin viisi kertaa ja lecasoraa sisältävän TINO-päällysteen (~SMA 10) noin neljä kertaa nopeammin kuin vertailupäällyste SMA 18. Myöhemmissä tutkimuksissa on erittäin vilkkaasti liikennöidyllä tieosuudella (Kehä I) SMA 5 -päällysteen kulumisnopeuden todettu olevan jopa 10-kertainen vertailupäällysteeseen SMA 16 nähden. Myös laboratoriossa suoritetuissa SRK-ajoissa (sivurullakulutuskoe) todettiin SMA 5- ja TINO-päällysteiden kuluvan yli kaksinkertaisesti vertailupäällysteeseen SMA 16 nähden. Päällysteiden kulumisominaisuuksia tarkastellaan lähemmin luvussa 7. /15,59/

Huonon kulutuskestävyyden takia hiljaisten päällysteiden kestoikä on ollut selvästi tavanomaisia päällysteitä alhaisempi. Toisaalta kehitystyö ja paremmat raaka-aineet pienentänevät eroa kestoiässä ja hiljaisten päällysteiden kestoikä saataneen kohtuulliselle tasolle matalamman nopeusrajoituksen tieverkolla kuten esimerkiksi taajamissa, missä meluongelma on suurin. Suuremman kulumisnopeuden lisäksi erityisesti SMA-tyyppisillä hiljaisilla päällysteillä massan lajittumisen aiheuttama pinnan liiallinen huokoisuus saattaa aiheuttaa päällysteen purkautumista ja sitä kautta arvioitua lyhyemmän päällysteen kestoiän. /10,17/

Päällysteen suurempi kulumisnopeus lisää erityisesti keväisin kaupunkien keskusta-alueilla ongelmalliseksi muodostunutta ilman katupölypitoisuutta. Hengitettävät hiukkaset PM₁₀ (hiukkaskoko alle 10 µm) jaetaan suuriin ja pieniin raja-arvon 2,5 µm perusteella. Nastarengaskulutuksen vaikutuksesta asfalttipäällysteestä irtoavat hiukkaset ovat kooltaan suuria hiukkasia. Hengitettäessä yli 10 µm:n hiukkaset jäävät ylähengitysteiden limakalvoille, kun taas pienemmät PM₁₀-hiukkaset kulkeutuvat syvälle keuhkoihin. Pienimmät alle 2,5 µm:n, pakokaasuista peräisin olevat, hiukkaset tunkeutuvat aina keuhkorakkuloihin asti. Yleisesti hiukkaspitoisuuksien kohoamisella on todettu olevan terveydelle haitallinen vaikutus. /17/

Hiljainen päällyste on myös tavanomaista päällystettä 20-50 % kalliimpaa. Suurempi kustannus perustuu suurempiin murskauskustannuksiin, parempilaatuiseen kiviainekseen ja suurempaan sideainepitoisuuteen. Asfaltin levitys-, työ- ja konekustannukset eivät juurikaan nouse. Tässä yhteydessä on kuitenkin syytä muistaa mahdollisuus ohuempaan levityspaksuuteen päällysteen hienorakeisuuden vuoksi. Levitettäessä ohuita, vain noin 20 mm kerroksia, hiljainen päällyste onkin neliöhinnaltaan jo jonkin verran tavanomaista päällystettä edullisempi. Toisaalta suuremmasta kulumisnopeudesta johtuva päällysteen pienempi kestoikä ja sitä kautta tiheämpi uudelleenpäällystämistarve tekevät päällysteestä karkeasti arvioituna noin 30-40 % tavanomaista päällystettä kalliimman. Lisäksi uudelleenpäällystystyöt aiheuttavat melua ja liikennehäiriöitä. /10,17/

Eräs lisähuomiota vaativa seikka hiljaisten päällysteiden kohdalla on niiden vaikutus liikenneturvallisuuteen. Asiaa ei ole juurikaan Suomessa tutkittu. Useissa yhteyksissä on kuitenkin tullut esille kysymys mahdollisten liikenneturvallisuuden kannalta haitallisten vaikutusten olemassa olostä. Hiljaisten päällysteiden on arveltu olevan tavanomaisia päällysteitä liukkaampia. Vastaavasti alhaisemman rengasmelutason on arveltu johtavan suurempiin ajonopeuksiin ja vaikeuttavan lähestyvän ajoneuvon havaitsemista esimerkiksi katua ylitettäessä (kuva 1).



Kuva 1. Liikennemerkkejä [lähde: www.tiehallinto.fi/liikennemerkit]

Hiljaisten päällysteiden arvellaan vaikuttavan tienpinnan liukkauteen kahdella tavalla. Arvellaan, että hienojakoisen päällysteen kitka olisi kosteana poikkeuksellisen alhainen ja toisaalta, että avoimilla hiljaisilla päällysteillä liukkaudentorjunnan vaikutus olisi normaalia vähäisempi. Teknillisen korkeakoulun tielaboratoriossa on tehty epävirallisia maksimiraekooltaan erilaisten SMA-päällysteiden kitkamittauksia. Kuivilta ja kasteluilta pinnoilta tehdyt mittaukset eivät kuitenkaan osoittaneet päällysteillä olevan merkittävää eroa. Avointen päällysteiden vaikutusta liikenneturvallisuuteen on tutkittu muun muassa Ranskassa, Hollannissa ja Itävallassa. /11/ (Tässä yhteydessä on syytä muistaa, ettei kaikkia Suomessa kokeiltuja hiljaisia päällysteitä ole syytä pitää avoimina päällysteinä). Hollantilaisessa tutkimuksessa ei havaittu avoimella päällysteellä olevan vaikutusta liikenneturvallisuuteen niin merkänä kuin kuivanakaan. Ranskalaisessa tutkimuksessa henkilövahinko-onnettomuuksien havaittiin nousseen kokonaisuudessaan 17 prosenttia. Toisaalta tutkimuksessa todettiin onnettomuuksien lisääntyneen ainoastaan kuivalla tienpinnalla (23-26 %) ja vastaavasti vähentyneen märällä tienpinnalla (25-30 %). Aikaisemmassa ranskalaisessa tutkimuksessa liikenneturvallisuusvaikutuksia ei havaittu. Vastaavasti Itävaltalaisessa tutkimuksessa onnettomuuksien havaittiin vähentyneen märällä tienpinnalla ja talviolosuhteissa. Kuivalla kelillä tapahtuneisiin onnettomuuksiin avoimella päällysteellä ei havaittu olevan vaikutusta. Tulokset ovat melko ristiriitaisia, eikä voida varmasti osoittaa avoimien päällysteiden vaikutusta liikenneturvallisuuteen.

Tanskalaisessa tutkimuksessa /11/ avoimilla päällysteillä havaittiin olevan hyvin monenlaisia sekä positiivisia että negatiivisia ominaisuuksia. Tiiviiseen pintarakenteeseen nähden avoin päällyste vähentää ajoneuvon muodostamaa vesisumua jopa 95 %, mikä toisaalta saattaa rohkaista ajamaan liian suurella nopeudella sekä liian lähellä edellä olevaa ajoneuvoa. Päällysteen kitkaominaisuuksien suhteen uusi avoin päällyste aiheuttaa lukkojarrutuksessa 20-40 prosenttia pidemmän jarrutusmatkan, mikä aiheutuu pinnan ohuesta bitumikalvosta sekä renkaan ja tienpinnan välisestä pienemmästä kosketuspinnasta. On kuitenkin huomioitava, että pinnalla liukkautta aiheuttava bitumikerros kuluu verrattain nopeasti pois. Toisaalta jarrutettaessa lukitsematta renkaita (ABS-jarrut) jarrutusmatkan ei havaittu kasvavan. Pikemminkin se lyheni. Lisäksi tanskalaisessa tutkimuksessa katuvalojen ja lähestyvien ajoneuvojen valojen synnytt-

tämien heijastusten todettiin subjektiivisesti vähentyneen, mikä paransi esimerkiksi tiemeraintöjen näkyvyyttä.

Talvikunnossapidon kannalta avoin päällyste lisää suolan tarvetta 25-100 % sen kulkeutuessa pois päällysteen pinnalta /11/. Toisaalta kun liikennemäärä on tarpeeksi suuri kulkeutuu suolaliuos ilman pumppausefektin johdosta takaisin tien pinnalle. Suolan kuivuessa tien pintaan kuluu se tiiviillä päällysteillä ajan myötä pois. Avoimilla päällysteillä suola säilyy huokosissa pidempään. Tanskalaisessa tutkimuksessa korostetaan erityissuunnittelua avoimien päällysteiden suolauskäytännön suhteen. Osaltaan avoimien päällysteiden talvikunnossapitoon vaikuttaa päällysteen pienemmästä lämmönjohtokyvystä johtuva tienpintojen aikaisempi jäätyminen, mitä osaltaan edesauttaa huokosiin varastoitunut vesi. Avoimet tien pinnat myös sulavat hitaammin.

Kahdesta muusta liikenneturvallisuuden kannalta arveluttavasta seikasta, ajonopeuksien kasvusta tai ajoneuvojen havaitsemisen vaikeudesta, ei tutkimustietoa juuri ole. Tanskalaisessa tutkimuksessa /11/ todettiin uuden asfalttipäällysteen kasvattavan ajonopeuksia (+1 km/h) ja sitä kautta lisäävän onnettomuuksia (+7 %). Tässä yhteydessä oleellinen on kuitenkin uusi päällyste, eikä se onko päällyste avoin vai ei. Ajoneuvojen havaitsemisen osalta puhutaan toki erittäin vakavasta asiasta jolla voi olla varsin tuhoisat seuraukset. Toisaalta kyse yleisestä liikennekäyttäytymisestä, jossa keskeisimmän aistin tulee aina olla näkö, muiden kyseeseen tulevien aistien tukiassa turvallista liikkumista.

2.4 KEHITTÄMISTARVE

Edellä esitetyn perusteella on selvää, että kehitystyön painopisteen on oltava kulumisominaisuuksien parantamisessa. Mitä vähäisempää hiljaisen päällysteen kuluminen on sitä parempi on päällysteen kilpailukyky muihin melusuojausrakenteisiin verrattuna ja sitä perustellumpaa on korvata tavanomainen päällyste yleisen asumismukavuuden nimissä hiljaisella päällysteellä myös kohteissa, joissa ohjearvot ylittävälle melulle ei altistuta.

Asfalttiala on menossa kohti toiminnallisten ominaisuuksien mukaista hankintamenettelyä. Kyseisen kaltaisessa menettelyssä tilaaja esittää haluamansa vaatimukset toiminnallisille ominaisuuksille, esimerkiksi päällysteen melutasolle ja kulumiskestävyydelle olematta ”kiinnostunut” päällysteen suhteituksesta. Urakoitsijat kehittävät omat brändinsä, merkkituotteensa, joilla on tietyt toiminnalliset ominaisuudet, ja tarjousvaiheessa esittävät omaavansa tuotteen, joka täyttää tilaajan vaatimukset. Yksinkertaistettuna menettely voisi olla seuraavan esimerkin kaltainen:

Esimerkki:

Tilaaja haluaa asuinalueen vähäliikenteiselle kokoojakadulle päällysteen, joka on meluominaisuudeltaan luokkaa 1 ja kulumiskestävyydeltään luokkaa 5. Toisin sanoen tilaaja haluaa päällysteen, jonka meluominaisuus on erittäin hyvä (koska kyseessä on asuinalue ja asukkaiden viihtyisyys) ja vastaavasti kulumiskestävyys välttävä (koska hyvästä kulumiskestävyydestä ei haluta maksaa ”turhaan” kun kyseessä on vähäliikenteinen katu).

Edellä esitetty käytäntö vaatii kuitenkin myös meluominaisuuksien suhteen luotettavan ja riittävän yksinkertaisesti suoritettavan melutason mittausmenetelmän, jotta kunkin tuotteen meluominaisuuksien todentaminen on mahdollista. HILJA-tutkimuksen yhtenä osana onkin päällysteen meluominaisuuksien mittausmenetelmien kehittäminen tarkoitukseen sopiviksi. Rengasmelun mittausmenetelmiä käsitellään luvussa 4.

3 RENGASMELU

3.1 YLEISTÄ

Termillä *melu* tarkoitetaan ääntä, jonka ihminen kokee epämiellyttävänä tai häiritsevä-
nä tai joka on hänen terveydelleen tai muulle hyvinvoinnilleen haitallista. Melu voi
häiritä työskentelyä, opiskelua, lepoa, nukkumista, harrasteita. Melun kokeminen on
subjektiivinen tapahtuma. Sama ääni voi olla melua tai myös nautittavaa ääntä. Esi-
merkkinä melun subjektiivisesta kokemisesta voidaan pitää rock-konserttia. Konsertti-
yleisö nauttii kuulemastaan, kun vastaavasti konserttipaikan lähellä asuvat kokevat
musisoinnin meluksi. Yksilön ominaisuudet, kuten ikä, terveydentila ja stressi, vaikut-
tavat myös melun kuormittavuuteen. Meluhäiriöiden kannalta riskiryhmiä ovat esi-
merkiksi vanhukset, lapset ja sairaat. Näiden ryhmien melun sietoraja on muuta väes-
töä alhaisempi. Taulukossa 2 on esitetty häiriintyvien osuus eri melutasoilla. Huo-
mionarvoinen seikka on alle 55 desibelin melutason häiriöksi kokevien suurehko osuus.
Kyseinen 55 desibeliähän on valtioneuvoston päätöksen mukainen haitallisen meluta-
son ohjeellinen raja-arvo taajama-alueilla kello 7-22 välisenä aikana. Näin ollaan ilmei-
sesti valmiita tekemään kompromissi häiriintyvien ihmisten lukumäärän ja melutasolle
asetettavien vaatimusten suhteen. /42,54,58/

Taulukko 2. Häiriintyvien osuus eri melutasoilla: /54/

HÄIRIINTYVIEN OSUUS ERI MELUTASOILLA	
< 55 dB	15-30 %
55-65 dB	n. 60 %
66-70 dB	n. 75 %
> 70 dB	yli 90 %

Pitkäaikainen melulle altistuminen saattaa vaikuttaa ihmisen terveyteen esimerkiksi
seuraavasti: /54/

- tilapäinen kuulon heikkeneminen tai pysyvä kuulovaurio
- unen häiriintyminen
- elintoimintojen muutos esimerkiksi verenkiertoelimissä, mikä saattaa lisätä verenvainetaudin mahdollisuutta
- lisäksi vaikutukset keskittymiskykyyn, hermostuneisuuteen, ärtyneisyyteen ja välinpitämättömyyteen

Kuulovaurioriski on mahdollinen, jos henkilö joutuu oleskelemaan yli 85 desibelin me-
lussa vähintään kahdeksan tuntia päivässä. Pysyvä vaurio kehittyy vuosien altistumi-
sen seurauksena. /54/

Melua pidetään nyky-yhteiskunnassa vakavana ongelmana. Meluvastaisten asenteiden ja aidon ympäristöstä huolehtimisen lisääntyessä ovat myös meluhaitat lisääntyneet. Haittoja ovat lisänneet väestön kasvu, kaupungistuminen, teollistuminen ja tekninen kehitys sekä erityisesti liikenteen jatkuva kasvu. /42/

Pääkaupunkiseudulla arvioidaan altistuvan liikenteen aiheuttamalle haitalliselle koe-
tulle yli 55 dB(A) melulle päivittäin noin 225 000 asukasta. Meluhaitoista kärsivien
ihmisten lukumäärä on edelleen jatkuvassa kasvussa. Erään Espoossa tehdyn tutki-
muksen perusteella 25 000 espoolaista kärsii melusta, kun kymmenen vuotta aiemmin
luku oli 15 000. Espoossa melusta kärsivien määrän nousua on selitetty liikenteen kas-
vun sijasta asuntojen rakentamisella liikenteen melualueille. /17,39/

Suomessa meluntorjuntaa ohjaavat meluntorjuntalaki (382/87), meluntorjunta-asetus
(169/88), terveydensuojelulaki (763/94), terveydensuojeluasetus (1280/94) ja valtio-
neuvoston päätös melutason yleisistä ohjearvoista (Vnp 993/92). Viimeksi mainittu
ohjaa meluntorjuntalain nojalla melun huomioon ottamista maankäytön, liikenteen ja
rakentamisen suunnittelussa. Melun ohjearvot ovat päätöksen perusteella taulukon 3
mukaiset: /17,51,58/

Taulukko 3. Valtioneuvoston antamat A-painotetun äänitason enimmäisarvot /58/

ALUEEN KÄYTTÖ	L(Aeq) 7:00-22:00	L(Aeq) 22:00-7:00
Asumiseen käytettävät alueet, virkistysalueet ja hoitolaitoksia palvelevat alueet	55 dB(A)	50 dB(A)
Uudet asuin- yms. alueet	55 dB(A)	45 dB(A)
Oppilaitoksia palvelevat alueet	55 dB(A)	-
Loma-asumiseen käytetyt alueet, leirintäalu- eet, taajamien ulkopuoliset virkistysalueet ja luonnonsuojelualueet	45 dB(A)	40 dB(A)
Asuin- , potilas- ja majoitustilat sisällä	35 dB(A)	30 dB(A)

Enimmäisarvoja sovelletaan meluhaittojen ehkäisemiseksi lupamenettelyn yhteydessä.
Päätös ei koske ampuma- ja moottoriurheiluratojen synnyttämää melua, eikä myös-
kään teollisuus-, liikenne- ja melusuoja-alueita. /58/

Muita meluntorjuntaan liittyviä säädöksiä on edellisten lisäksi rakennuslaissa
(370/58), laissa yleisistä teistä (243/54), tieliikennelaissa (267/81) ja ympäristövaiku-
tusten arviointimenettelylaissa (468/94) sekä niihin liittyvissä asetuksissa ja ministeri-
öiden päätöksissä. Mainittakoon, että esimerkiksi Saksassa ohjearvot suurimmalle me-
lutasolle ovat lievemmat kuin Suomessa. /51/

Kuten edellä on todettu, on ääni fysikaalinen käsite. Tarkasti sanottuna ääni on kimmoisassa väliaineessa etenevää mekaanista värähdysliikettä. Usein väliaineena on ilma ja tällöin voidaan puhua ilmahiukkasten värähtelystä, joka voidaan havaita ilmanpaineen vaihteluna. Kyseiset ilmanpaineen vaihtelut havaitaan korvassa kuuloaistimuksena. Paineenvaihtelut ovat äärimmäisen pieniä. Esimerkiksi miljoonasosan (100 mPa) vaihtelu normaali-ilmanpaineeseen (n. 100 kPa) nähden vastaa äänenvoimakkuutta 74 dB. /42,51/

Painetta verrataan siis vertailutasoon, jolloin tulokseksi saadaan paljas luku. Tälle äänitasoa edustavalle luvulle on määritetty yksiköksi desibeli [dB]. Matemaattisesti äänitaso määritellään seuraavasti (kaava 1): /51/

$$L = 20 \log p/p_0 \quad (1)$$

L on äänitaso desibeleinä [dB]

p on äänenpaine [Pa]

p_0 on vertailuäänepaine $2 \cdot 10^{-5}$ Pa, ihmisen kuulokynnys

Äänen fysikaaliseen luonnehdintaan tarvitaan kolme ulottuvuutta: /42/

- äänen voimakkuus eli taso
- äänen taajuus
- aika

Äänen voimakkuutta kuvataan *taso*-käsitteen avulla. Kaikki meluntorjuntaan liittyvät tasot ovat 10-kantaiseen logaritmiin perustuvia suureita ja niiden yksikkönä on desibeli. Desibeli-asteikon logaritmisuuden vuoksi äänenpaineen kaksinkertaistuminen vastaa noin kolmen desibelin eroa. Ihmiskorvalle, jonka erottelukyky on noin 1 dB, 8-10 desibelin ero vastaa äänenvoimakkuusaistimuksen kaksinkertaistumista. /5,42,54/

Esimerkki:

Yksi ruohonleikkuri aiheuttaa pihalle 80 desibelin melutason. Jos samanaikaisesti käynnistetään toinen leikkuri, on melutaso 83 desibeliä. Vastaavasti neljä ruohonleikkuria aiheuttaa 86 desibelin melutason.

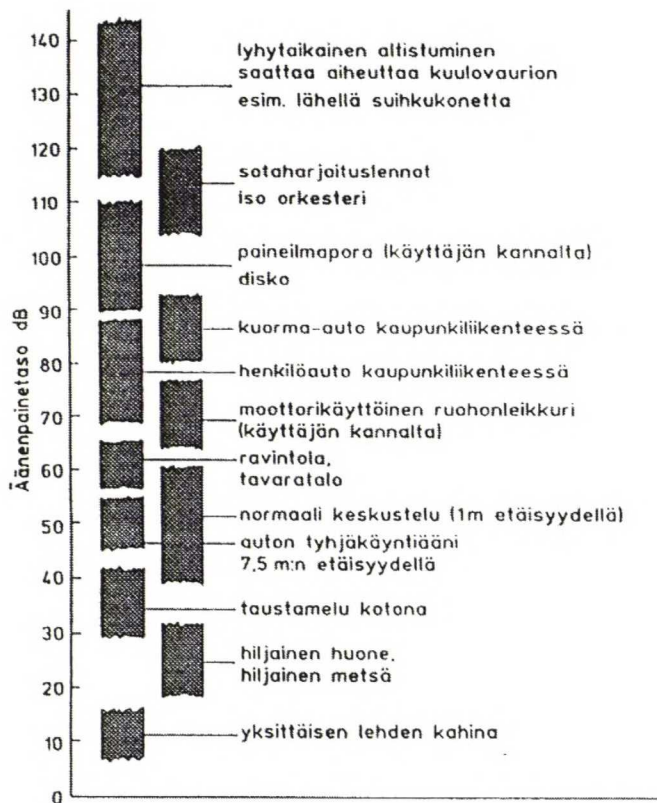
Matemaattisesti äänentaset (n kappaletta) voidaan laskea yhteen seuraavasti (kaava 2):
/5/

$$L_{\text{kok}} = 10 \lg (10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \dots + 10^{L_n/10})$$

(2)

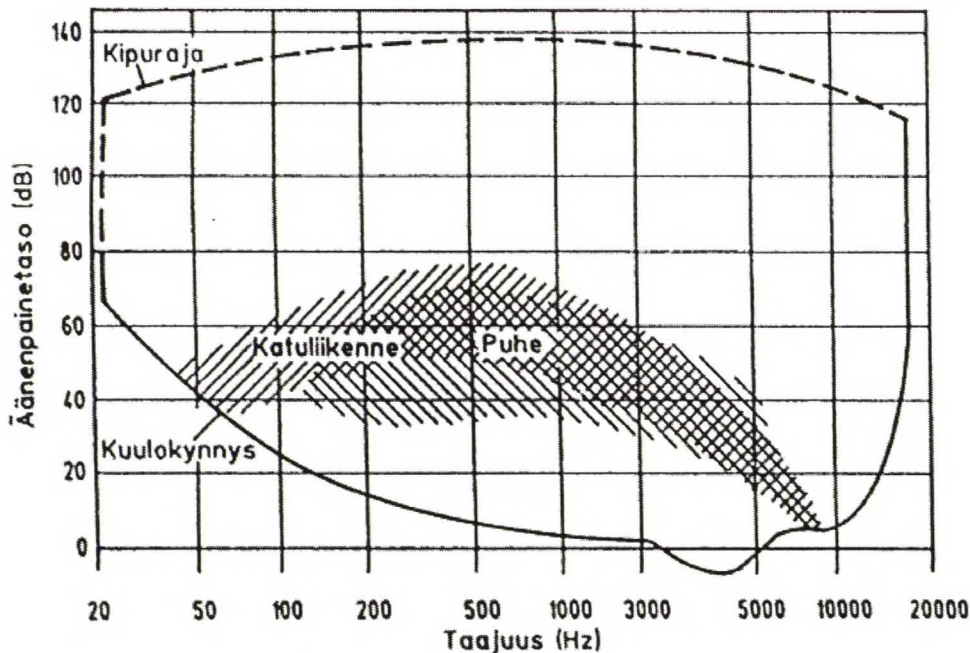
Äänen pitkän ajan keskiarvoa sanotaan *keskiäänitasoksi* eli *ekvivalenttitasoksi* [L_{eq}]. Muuta tunnuslukuja ovat esimerkiksi L_{10} ja L_1 , jotka ilmaisevat melutason, joka ylitetään alaindeksin osoittaman prosentuaalisen osuuden kokonaisajasta. Kuvassa 2 on esitetty joitain esimerkkejä erilaisten helposti miellettyävien äänilähteiden synnyttämistä äänitasoista. /54/

Äänitasomittareissa käytetään erilaisia aikapainotuksia äänilähteen laadun perusteella. F(fast)-aikapainotus edustaa 0,25 sekunnin ja S(slow) 2 sekunnin ajan äänen keskitasoa. Tieliikenteen melumittauksissa käytetään yleisesti fast-aikapainotusta. /51/



Kuva 2. Esimerkkejä erilaisista äänenpainetasoista /54/

Kuvassa 3 on esitetty ihmiskorvan kuuloalue. Kuuloalueen laajuus vaihtelee eri ihmisten välillä. Yleisesti ottaen kuuloalue on sitä laajempi mitä nuoremasta ihmisestä on kyse. Normaalisti ihminen kuulee taajuuudet 16...16 000 Hz. Tämän taajuusalueen alapuolisia ääniä kutsutaan infraääniksi. Vastaavasti alueen yläpuoliset äänet ovat ultraääninä. /33/



Kuva 3. Ihmiskorvan kuuloalue /54/

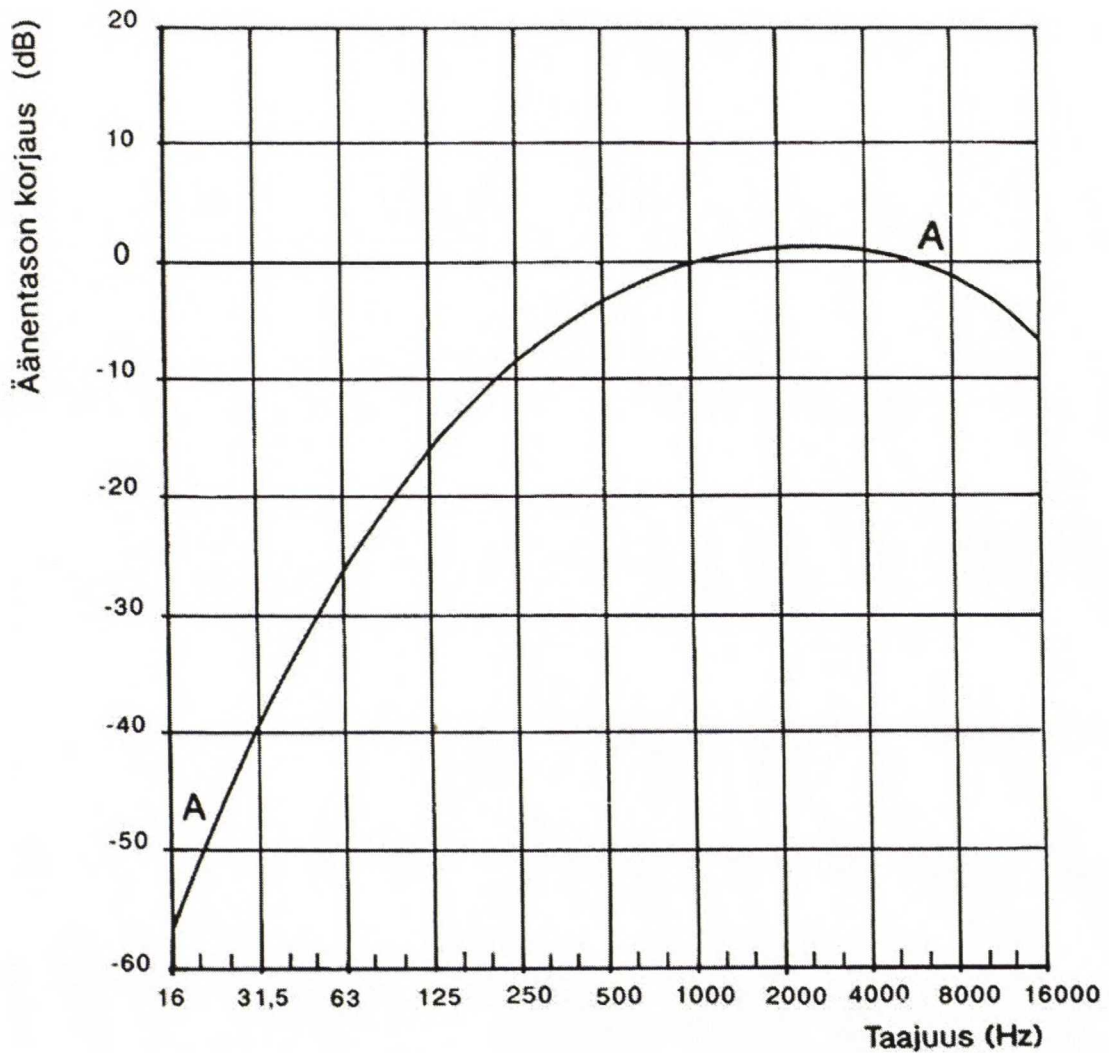
Äänen nopeus riippuu aallonpituudesta ja taajuudesta seuraavan yhtälön mukaisesti (kaava 3): /33/

$$v = f * \lambda \quad (3)$$

- v on äänen nopeus (ilmassa noin 344 m/s, 20°C) [m/s]
- f on taajuus eli frekvenssi (värähdysjä sekunnissa) [1/s] tai [Hz]
- λ on aallonpituus [m]

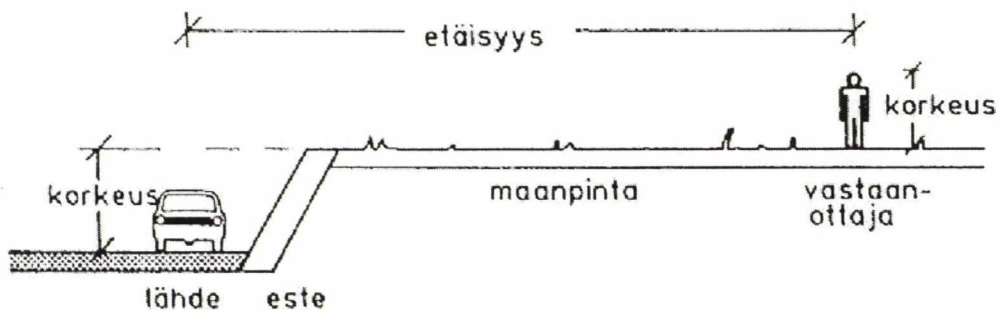
Liikennemelun keskitaajuuudet sijoittuvat 500...1000 hertsin kohdalle, jolloin aallonpituudeksi saadaan 0,68...0,34 metriä äänen nopeuden ollessa ilmassa lähes vakio. /51/

Äänen haitallinen vaikutus on taajuudesta riippuvainen. Tämän vuoksi äänentasa korjataan korvan kuuloaistimukseen perustuvalla ns. A-suodattimella. Kuvassa 4 on esitetty A-suodattimen mukainen korjauskäyrä: /51/



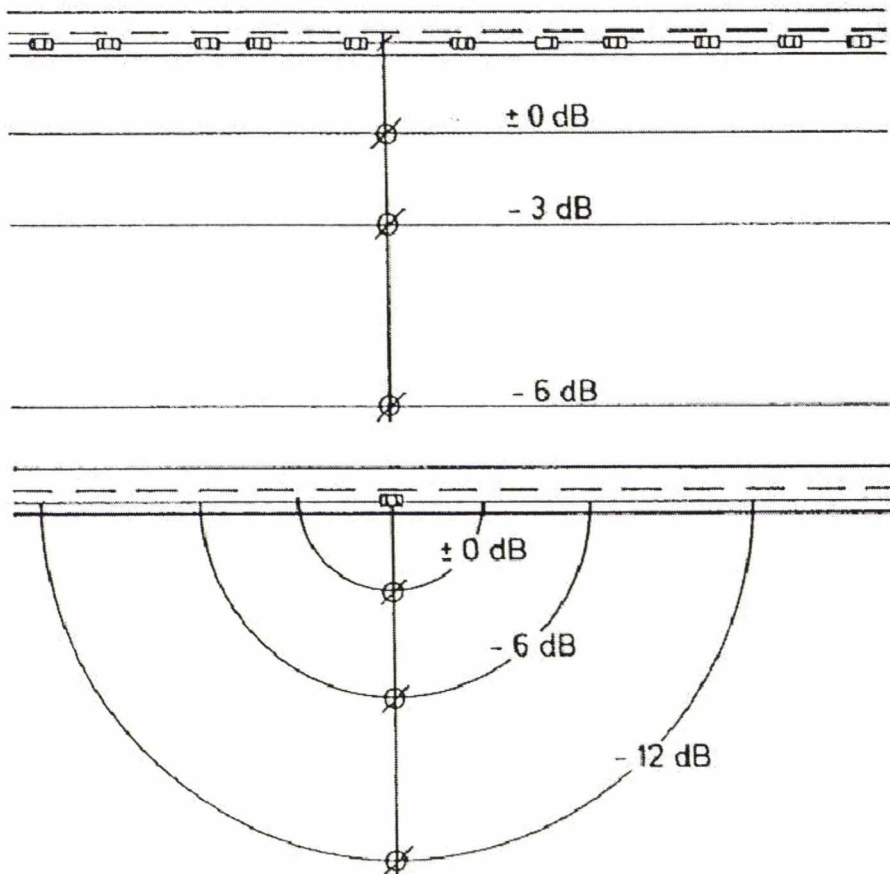
Kuva 4. A-painotussuodatin /51/

Tieliikenteen melusta puhuttaessa keskeinen seikka on melun vaimeneminen. Yleises-
tihan on niin, että melusta kärsivät kohteet, kuten asuinalueet, eivät ole aivan tiealueen
välittömässä läheisyydessä. Äänen kulkuun ja sen tasoon vaikuttavat äänilähteen, es-
teen ja maanpinnan ominaisuudet sekä edellä mainittujen ja havaintopisteen keskinäi-
nen asema. Ominaisuuksien ja aseman muutokset aiheuttavat melutilanteen muutok-
sen. Yleisesti melun vaimentumisen kannalta on edullista, jos lähde on havaintopisteen
alapuolella (kuva 5)./54/



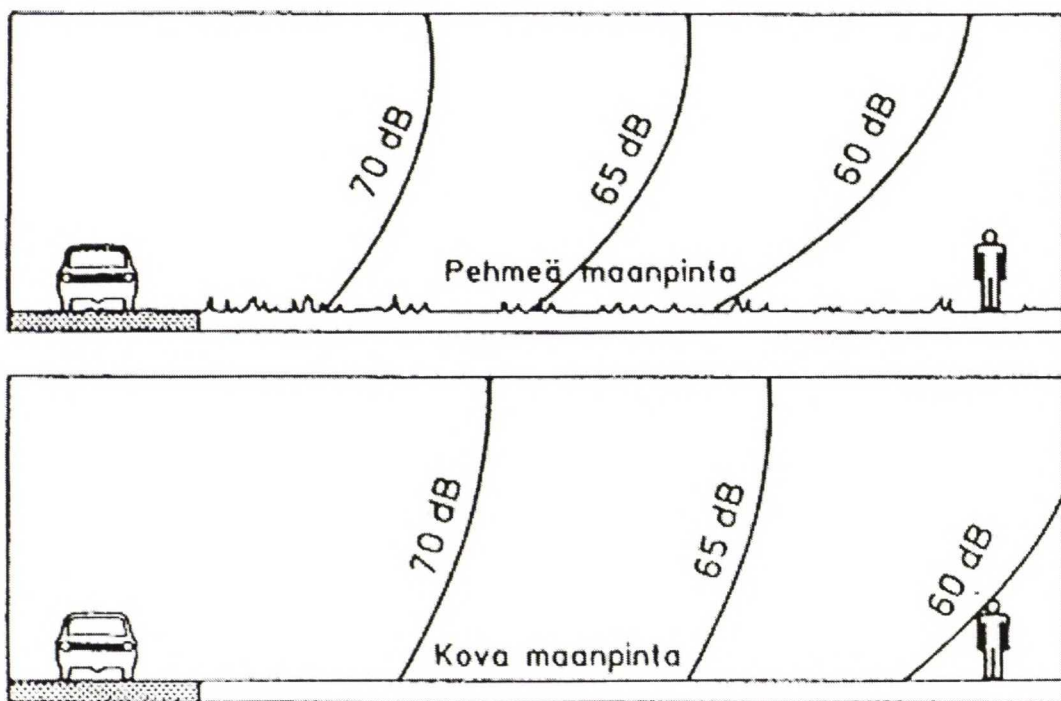
Kuva 5. Melun etenemiseen ja vaimenemiseen vaikuttavia tekijöitä /54/

Liikennevirran aiheuttamaa melua käsitellään viivalähteenä, jolloin tarkasteluetaisyyden kaksinkertaistuminen tasaisessa maastossa laskee melutasoa 3 dB. Vastaavasti yksittäinen ajoneuvo on luonteeltaan pistelähde, jolloin tarkasteluetaisyyden kaksinkertaistuminen laskee melutasoa 6 dB (kuva 6). /54/



Kuva 6. Etäisyyden vaikutus melun vaimenemiseen /54/

Tarkastelupisteen ja lähteen välinen maasto vaikuttaa melun vaimenemiseen. Rakennukset ja muut korkeat esteet vaimentavat melua voimakkaasti. Mikäli tarkasteltavalla alueella ei ole tällaisia kohteita, tärkein melun vaimenemiseen vaikuttava seikka on maanpinnan ominaisuudet. Kovat pinnat heijastavat ja vastaavasti pehmeät pinnat vaimentavat melua (kuva 7). Käytännössä kovalla pinnalla vaikuttaa vain etäisyysvaimennus ja pehmeällä pinnalla lisäksi maavaimennus. Kasvillisuuden käyttö lisää viihtyisyyttä. Meluntorjuntamielessä sillä ei saavuteta kuitenkaan merkittävää hyötyä. Edellä esitettyjen lisäksi melun vaimenemiseen vaikuttaa säätila. Esimerkiksi sumu vaimentaa korkeita ääniä ja vastaavasti pakkasilmalla äänet kuuluvat normaalia huomattavasti kauemmas. /54/



Kuva 7. Maanpinnan ominaisuuksien vaikutus melun vaimenemiseen /54/

Melulaskentoihin käytetään Suomessa puoliempiiristä pohjoismaista tieliikennemelun laskentamallia. Vuodelta 1981 olevaa mallia täydennetään jatkuvasti mittauksin. Laskentamallissa otetaan huomioon etäisyyskorjaus, maanpinnan ja esteiden aiheuttama lisävaimennus. Lisäksi käytetään korjauskertoimia esimerkiksi tien pituuskaltevuudelle ja erilaisille heijastuksille. Laskennassa lähtöarvoina toimivat ajoneuvojen nopeus, liikennemäärä ja raskaiden ajoneuvojen osuus. /54/

3.2 RENGASMELUN SYNTY

Ajoneuvojen synnyttämä liikennemelu koostuu seuraavista tekijöistä: /54/

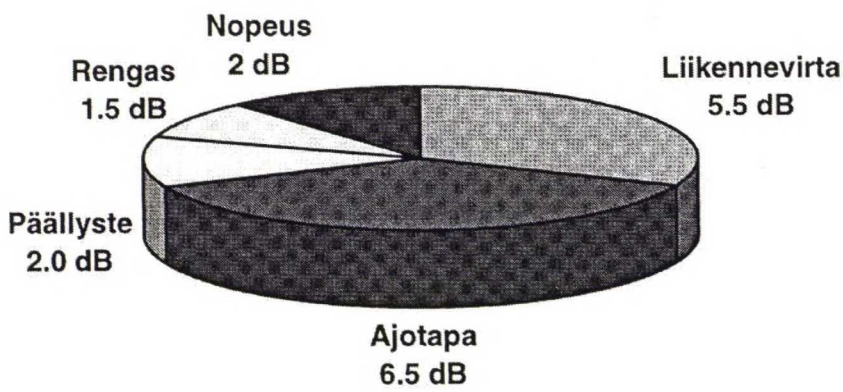
- mekaaninen moottorimelu
- polttoaineseoksen palamismelu
- tuuletinmelu
- imumelu (moottorin ilmanotto)
- ilmavirtauksen aiheuttama melu
- **rengasmelu**

Liikennemelun lähtötasoon vaikuttavia tekijöitä ovat vastaavasti: /54/

- nopeus
- liikennemäärä
- raskaiden ajoneuvojen osuus liikennevirrasta
- tien pituuskaltevuus
- liittymät
- kuljettajan ajotapa
- päällyste

Liikennemelun eri osatekijöiden vaikutusta kokonaismeluun on tutkittu paljon. Kuvassa 8 on esitetty Milanon teknillisessä korkeakoulussa 1997 tehdyn tutkimuksen tulos. Vastaavanlaisia osatekijöiden vaikutusta käsitteleviä tutkimuksia on tehty useita. Mielinkiintoiseksi asian tekee se tosiseikka, että saadut tulokset poikkeavat usein merkittävästi toisistaan. Erityisesti kuvassa 8 esitetty päällysteen vaikutus 2 dB vaikuttaa Suomessa tehdyissä tutkimuksissa saatuihin tuloksiin nähden varsin alhaiselta. Toisaalta tulosten keskinäistä vertailua hankaloittaa epävarmuus mittausmenetelmien ja mittausetäisyyksien suhteen.

Erilaisten tekijöiden vaikutus liikenteen meluun



Kuva 8. Erilaisten tekijöiden vaikutus liikenteen meluun /28, 30/

Eräs usein esille tuleva seikka on moottorin, renkaiden ja ilmanvastuksen synnyttämän melun suhde. Taulukon 4 mukaan rengasmelu on matalammilla nopeuksilla merkittävin tieliikennemelun lähde ilmanvastuksen kasvattaessa osuuttaan nopeuden kasvaessa.

Taulukko 4. Ohiajommelun karkea koostumus /42/

	40 km/h	80 km/h	120 km/h
Moottori	n. 25 %	n. 20 %	n. 15 %
Renkaat	n. 35 %	n. 30 %	n. 20 %
Ilmanvastus	n. 5 %	n. 20 %	n. 45 %
Muut	n. 35 %	n. 30 %	n. 20 %

Muut tarkoittaa ilmanoton, pakokaasujen poiston ja muiden erittelemättömien lähteiden melua

Rengas-tie -kosketuksesta aiheutuvan melun synty on monimutkainen tapahtuma. Eri-tyisesti kokonaismelun jakaminen sen synnyttäneisiin osamekanismeihin on vaikeaa. Melun syntymiseen, sen osamekanismeihin ja lähtötasoon, vaikuttavat seuraavat tekijät: /42/

- akselipaino
- rengaspaine
- ajoneuvon rakenne
- renkaan rakenne
- renkaan koko

- renkaan lämpötila
- pintakuvio
- pintamateriaali
- tienpinnan laatu ja lämpötila

Englantilaisessa tutkimuksessa rengas-tie -melun todetaan olevan fysikaalisten prosessien yhdistelmä, joka voidaan jakaa kolmeen erilliseen ryhmään: /29/

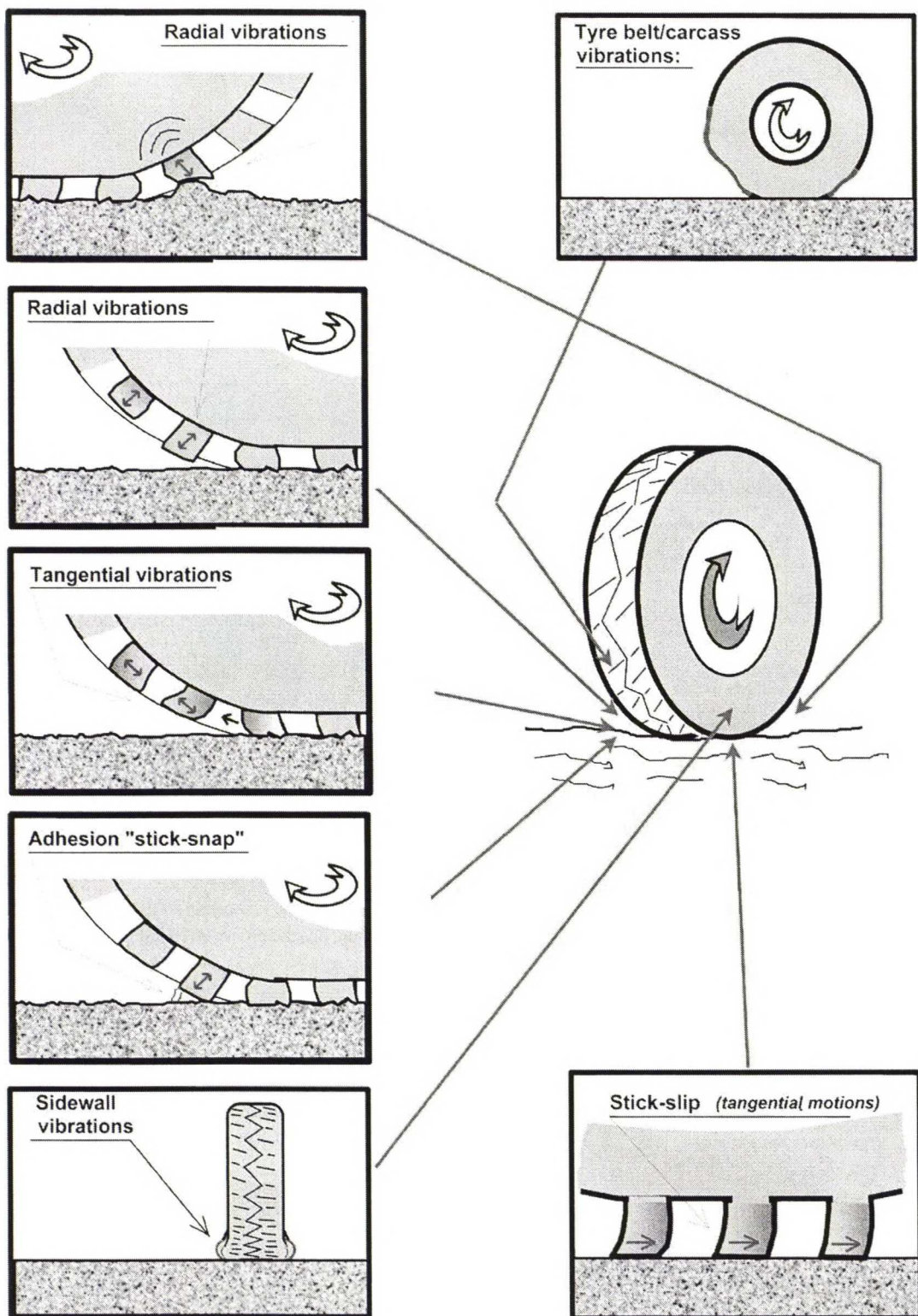
1. törmäykset ja iskut, jotka syntyvät renkaan ja tien pinnan kosketuksesta
2. aerodynaamiset prosessit renkaan kuvioinnin ja tien pinnan välissä
3. adheesio ja mikroskooppiset efektit renkaan ja tien pinnan välisessä kontaktissa

Ensin mainittu komponentti syntyy, kun renkaan kuviointi ensin tarttuu ja sitten irta-aa tien pinnasta renkaan pyöriessä (kuva 9). Pääpiirteissään ääni syntyy kuvioinnin ja renkaan sivun värähtelystä, mikä vastaavasti kiihdyttää ilman pyörteilyä renkaan ympärillä. Kyseisen matalataajuisen < 1 kHz (monissa tutkimuksissa rengasmelu on lisäksi jaettu taajuutensa perusteella matala- ja korkeataajuisen meluun) melun suuruus riippuu renkaan kuvioinnista ja tien pinnan karkeudesta. /29,31/

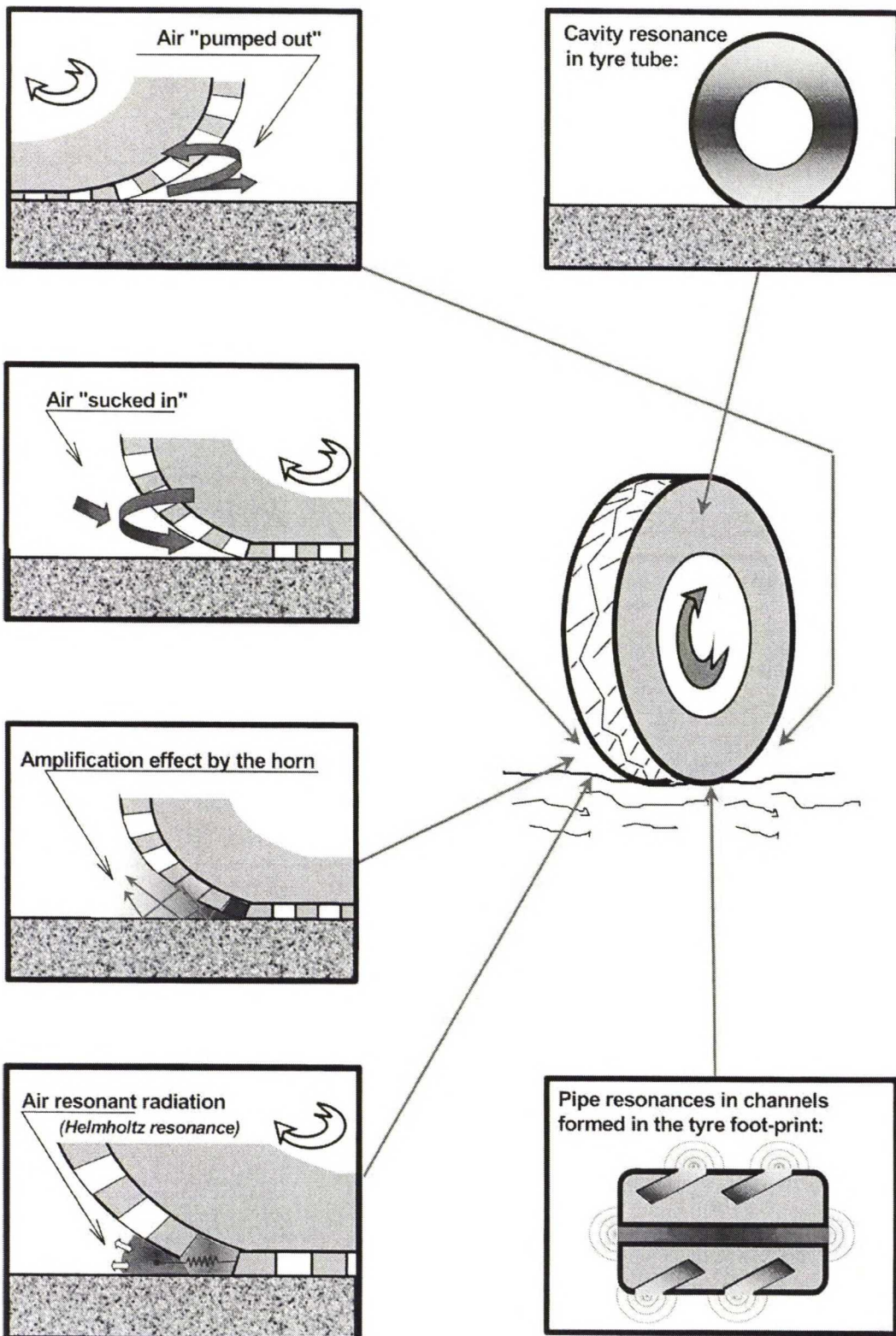
Toinen komponentti, aerodynaamiset prosessit, perustuu ilman liikkeisiin renkaan kulutusurissa (kuva 10). Ääni syntyy pääasiallisesti kontaktipinnan alueella. Tätä ilmiötä nimitetään yleisesti ilman pumppausefektiiksi. Efektin synnyttämä melu on taajuudeltaan 1-3 kHz ja sen suuruuteen vaikuttaa pumppausefektin synnyttämän paine-eron suuruus. /29,31/

Ruotsalaisessa tutkimuksessa korkeataajuinen > 800 Hz (1 kHz) rengasmelu on jaettu tarkemmin kolmeen osatekijään: /31/

- tangentiaaliseen ilman heilahdusliikkeeseen, joka syntyy ilman kulkeutumisesta rengaskuvion mukana
- edellä mainittuun ilman pumppausefektiin
- Ilman resonointi syntyy paine-erojen pyrkiessä tasoittumaan



Kuva 9. Rakenneperäisten värähtelyjen synnyttämä rengasmelu / 44/



Kuva 10. Aerodynaamisten prosessien synnyttämä rengasmelu /44/

Kolmas komponentti, adheesio ja mikroskooppiset efektit, aiheutuu kitkavoimien synnyttämisestä renkaan värähtelyistä. Kun rengas puristuu tien pintaa vasten, radiaalinen taipuma synnyttää tangentiaalisen voiman renkaan ja tien pinnan välille. Tätä tangentiaalista voimaa pyrkivät vastustamaan kitka ja renkaan jäykkyys. Kitka renkaan kuviin ja tien pinnan välillä jaetaan hystereesis- ja adheesiokomponenttiin. Adheesiokomponentti perustuu molekyylien väliseen vuorovaikutukseen ja on riippuvainen tien pinnan mikrokarkeudesta. Hystereesisvoima perustuu renkaan "kietoutumiseen" tien pinnan rosioihin. Kun rengas liukuu, renkaan lamellit puristuvat lähemmäs toisiaan ja kontakti tien pintaan alkaa kadota. Syntyy voima, jonka suunta on liukumissuuntaan nähden vastakkainen. Hystereesiskomponentin suuruus riippuu suuresti pinnan makrokarakteereista eli päällysteen raakoista riippuvasta pinnan aallonpituudesta. /29/

Kokonaisrengasmeluun vaikuttaa edellä esitettyjen kolmen komponentin lisäksi äänen imeytyminen tien pintaan erityisesti huokoisilla päällysteillä. Huokoinen pinta vähentää myös ilman pumppausefektiä. /31/

Renkaiden tuotekehityksen kannalta pyrkimys mahdollisimman matalaan rengasmelutasoon on ongelmallinen. Monet muut renkaalle asetettavat vaatimukset, kuten ajominaisuudet, kulutuskestävyys ja turvallisuus, asettavat kuvioinnille ja muulle renkaan rakenteelle matalaan rengasmelutasoon nähden ristiriitaisia vaatimuksia. /42/

3.3 RENGASMELUUN VAIKUTTAVAT PÄÄLLYSTEEN OMINAISUUDET

Rengasmeluun vaikuttavat päällysteen ominaisuudet ja arvio niiden merkittävyydestä: /9,45/

- **Päällysteen pintarakenne** (makro- ja megarakenteella suuri merkitys)
- **Huokoisuus** (suuri merkitys)
- **Huokoisen kerroksen paksuus** (suuri merkitys)
- **Rengas-tie adheesio** (marginaalinen vaikutus)
- **Pinnan jäykkyys** (mahdollisesti marginaalinen vaikutus)

Vuonna 1980 Sandberg ja Descornet julkaisivat tutkimuksen /43/, joka osoitti rengasmelun ja tienpinnan tiettyjen aallonpituuksien (epätasaisuuksien) välisen yhteyden. Epätasaisuudet jaetaan yleisesti seuraavaan kolmeen luokkaan: /29/

- **Mikrorakenne (-karkeus)**

On tien pinnan suuntainen pienimittakaavainen, <0,5 mm epätasaisuus. Tyyppillisesti epätasaisuus johtuu kiviaineksen karkeudesta. Kuten edellä on todettu, kitkan adheesiokomponentti riippuu pinnan mikrokarakteereista. Siksi mikrokarakteereiden on varsin merkityksellinen liikenneturvallisuuden kannalta.

- **Makrorakenne (-karkeus)**

Tien pinnan epätasaisuus, joka pinnan suuntaisesti mitattuna on suuruudeltaan välillä 0,5-50 mm. Epätasaisuus aiheutuu pääasiassa kivistä. Makrorakenne muodostaa vedenpoistokanavia, pitää päällysteen kuivana ja ehkäisee veden kerääntymistä tien pinnalle ja sitä kautta vesiliirrolle altistavien olosuhteiden syntyä. Makrokarkeudella on lisäksi suurilla nopeuksilla jarrutettaessa hystereesisvoiman kautta vaikutusta kitkaan renkaan ja tien pinnan välillä.

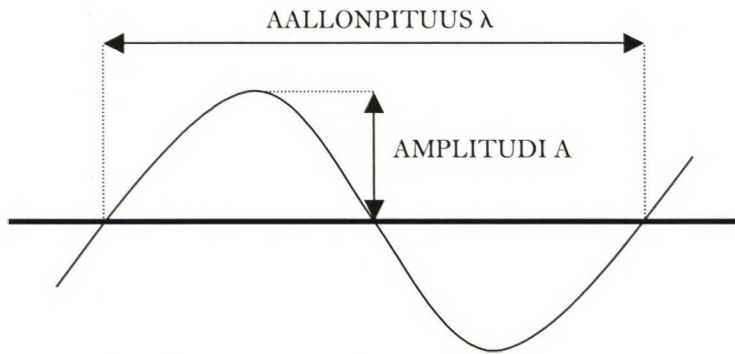
- **Megarakenne (-karkeus)**

Tien pinnan poikkeama, joka pinnan suuntaisesti mitattuna on suuruudeltaan välillä 50-500 mm. Kyseiset aallonpituudet ovat samaa suuruusluokkaa renkaan ja tien pinnan välisen kosketuspinnan pituuden kanssa. Megarakenteella onkin todettu olevan haitallinen vaikutus tien pinnan kitka- ja meluominaisuuksien kannalta.

Englantilaisen Transport Research Laboratoryn (TRL) tutkimuksessa /29/ pintarakennetta mitattiin laserprofilometrillä, jonka pystysuora resoluutio oli 0,01 mm. Profilometrimittauksia suoritettiin paikoissa, joista oli SPB-menetelmällä mitattu melu. Fourier-tekniikkaa käyttäen mitatut profiilit muutettiin aallonpituuskomponenteiksi. Lasermittausten lisäksi vastaavissa paikoissa suoritettiin myös ns. Sand patch -kokeet.

Mittaustulosten perusteella laskettiin korrelaatio tien pinnan aallonpituuksien (epätasaisuuksien) ja melun välille sekä kevyille että raskaille ajoneuvoille. Melun ja aallonpituuksien 20-160 mm välille saatiin melko suuret positiiviset korrelaatiot, noin 0,6 kevyille ja noin 0,4 raskaille ajoneuvoille. Aallonpituudet oli jaettu alueisiin, joiden keskimääräiset aallonpituudet olivat 2,5 mm, 5 mm, 10 mm, 20 mm, 40 mm, 80 mm ja 160 mm. Alle 10 mm aallonpituuksien ja melun välinen korrelaatio oli vain noin puolet vastaavista yli 20 mm aallonpituuksien korrelaatioista. /29/

Tutkimustulosten perusteella merkittävimmäksi rengas-tie -melun synnyttäjäksi saatiin päällysteen pinnan amplitudi (pinnan epätasaisuuden syvyys) (kuva 11) aallonpituusalueella 20-160 mm. Toisin sanoen näiden aallonpituuksien amplitudia pienentämällä päästään alhaisempaan melutasoon. Makrorakenne, erityisesti lyhyemmillä aallonpituuksilla, edesauttaa ilman poistumista renkaan alta ja vähentää näin ilman pumppausefektiä. Lisäksi on syytä ottaa huomioon makrorakenteen vaikutus kitkaominaisuuksiin. /29/



Kuva 11. Aallonpituus ja amplitudi

Ruotsalaisessa tutkimuksessa (Sandberg) havaittiin rengas-tie -kosketuksessa syntyvän alle 1500 Hz taajuisen melun korreloivan yli 10 mm aallonpituuksien kanssa. Vastaavasti 1500 hertsiä korkeammat taajuudet korreloivat pienempien aallonpituuksien kanssa. Vertaamalla edellä esitettyä rengasmelun syntyä käsittelevään kappaleeseen 3.2, voidaan todeta, että suuret päällysteen aallonpituudet aiheuttavan renkaan värähtelyn ja pienemmät aallonpituudet vaikuttavat muihin kappaleessa 3.2 esitettyihin kahteen rengasmelua synnyttävään komponenttiin. /43/

Edelleen samassa tutkimuksessa todettiin, että 80 km/h nopeudella matalataajuinen melu korreloi positiivisesti amplitudin kasvun kanssa 80 mm aallonpituudella. Vastaavasti korkeataajuisen melun korrelaatio amplitudin suhteen on negatiivinen 5 mm aallonpituudella. Amplitudin kasvu tällä aallonpituudella edesauttaa ilman poistumista renkaan ja tien välisestä kosketuspinnasta. Tällä on ilman pumppausefektin synnyttämää melua vähentävä vaikutus kuten edellä on todettu. /43/

Edellä esitetyn kaltaisia tuloksia megarakenteen korrelaatiosta melun suhteen saatiin myös TINO-projektissa. Toisaalta edellä esitetyn ruotsalaisen tutkimuksen tuloksia makrorakenteen amplitudin kasvattamisesta melun vähentämiseksi ei voitu vahvistaa. /9/

Myöhemmässä tutkimuksessa Sandberg on havainnut, että matalataajuinen melu kasvaa amplitudin mukana aallonpituusalueella 10-500 mm ja vastaavasti korkeataajuinen melu vähenee amplitudin mukana aallonpituusalueella 0,5-10 mm. Sandberg määrittelee myös cross-over frequency -termin, jolla tarkoitetaan matala- ja korkeataajuisen melun rajakohtaa. Tutkimukset ovat osoittaneet tämän kohdan olevan noin 1000 Hz kevyiden ajoneuvojen renkailla ja noin 500 Hz raskaiden ajoneuvojen renkailla. /45/

Sandbergin tutkimusten nojalla hiljaisten päällysteiden suunnittelussa tulisi ottaa huomioon seuraavat seikat: /45/

Mikrorakenne ja adheesio

- Korkeilla taajuuksilla (1-3 kHz) adheesion renkaan ja tien pinnan välillä tulisi olla heikko. Näin vältetään adheesiosidosten murtumisesta johtuva ääni.
- Kiiltäviä pintoja tulisi välttää (voimakkaampi adheesio).

Makrorakenne

- Makrorakenteen amplitudin (pinnan epätasaisuuden syvyyden) tulisi olla suuri 0,5-8 mm aallonpituusalueella (epätasaisuuksilla) kevyillä ajoneuvoilla ja 0,5-12 mm aallonpituusalueella raskailla ajoneuvoilla.
- Makrorakenteen amplitudin tulisi olla pieni 10-50 mm aallonpituusalueella kevyillä ja 16-50 mm aallonpituusalueella raskailla ajoneuvoilla.

Ongelmalliseksi on havaittu saada aikaan päällysteitä, joilla on suuri amplitudi suuruusluokaltaan 5 mm aallonpituusalueella ilman että suuruusluokaltaan 50 mm aallonpituusalueella amplitudi kasvaa. Kuten edellä on esitetty, TINO-projektissa ei suuren amplitudin positiivista vaikutusta pienemmällä aallonpituusalueella voitu vahvistaa. /9,45/

- Maksimiraekoon tulisi olla melun kannalta kevyillä ajoneuvoilla alle 8 mm, optimissaan 4-6 mm ja raskailla ajoneuvoilla alle 12 mm, optimissaan 6-10 mm.

Vaatus on ristiriitainen aiemmin esitetyn kanssa, sillä pieni maksimiraekoko pienentää myös amplitudia. Toisaalta samalla pienenee amplitudi aallonpituuksilla >10 mm, millä saattaa olla vielä suurempi merkitys melun vähenemisen kannalta. Kiviainesten koon vaikutuksesta Sandberg toteaa, että määräävä aallonpituus on tavallisesti hieman maksimiraekokoa suurempi. Raekoon lisäksi myös rakeiden muodolla on vaikutusta meluun. Teräväkulmaiset rakeet kasvattavat päällysteen amplitudia ja pienillä aallonpituuksilla Sandbergin mukaan vähentävät melua.

- Kiviaineksen tulisi olla teräväreunaista esimerkiksi mursketta, heikosti kiillottuvaa ja muotonsa mahdollisimman hyvin säilyttävää.
- On tärkeää luoda avoin pinta. Tämä ei kuitenkaan välttämättä tarkoita määritelmän mukaista avointa asfalttia, vaan SMA-päällyste käy hyvin. Hiekan käyttöä kiviaineksena tulee välttää.

Megarakenne

- Megarakennetta (erityisesti aallonpituudet 50-100 mm) tulisi aina välttää sen synnyttämän matalataajuisen melun takia.
- On tärkeää saada aikaan homogeeninen makrorakenne, koska puuttuvat rakeet lisäävät megarakennetta.
- Kiviaineksen muodon tulisi olla kuutiomainen.
- Käytettäessä litteitä kiviä, jyräksen yhteydessä tulisi varmistaa kivien yhtenevä suuntautuminen ja limittyminen.

Päällysteen pintarakenne kokonaisuutena

Päällysteen meluominaisuuksien kannalta optimoinnissa on otettava huomioon kolme kohtaa:

1. Pintarakenne; synnyttää mahdollisimman vähän värähtelyä renkaaseen.
2. Huokoisuus; hyvät kuivatus- ja melun absorbointiominaisuudet.
3. Kerroksen paksuus ja kerroksien määrä

On tavoiteltava mahdollisimman vähäistä makro- ja megarakennetta kaikilla aallonpituuksilla. Kiviaineksen ei tarvitse välttämättä olla teräväreunaista. Kuitenkin jos huokoisuus vähenee ts. päällyste tukkeutuu, käyttäytyy päällyste kuin ei-huokoinen pinta ja vaatimukset mm. rakeiden teräväreunaisuus tulevat voimaan. Vähäinen makro- ja megarakenne edellyttäisi pienen maksimiraekoon käyttöä. Tämä on kuitenkin ristiriidassa tyhjätila- ja tukkeutumattomuusvaatimusten kanssa. Ratkaisu tähän on kaksikerrosrakenne, joka koostuu hienorakeisesta pintakerroksesta ja karkeammasta pohjakerroksesta. Kovan ja pehmeän kiven käyttöä kaksikerrosrakenteissa tulee ehdottomasti välttää. Yhdistelmä aiheuttaa heikomman kiven hajotessa tukkeutumista ja ei-toivottua makro- ja megarakennetta.

Päällysteen kitka

Kitkalla ei ole havaittu olevan merkittävää ja suoraa vaikutusta päällysteen melutasoon. Toisaalta pintarakenne vaikuttaa kitkaan ja sitä kautta myös meluun.

Sideaine

Sandbergin vuonna 1987 tekemän tutkimuksen perusteella pintarakenteen jäykkyydellä saattaa olla vaikutusta päällysteen meluominaisuuksiin. Erityisesti betonipäällysteiden meluisuutta on perusteltu päällysteen suurella jäykkyydellä. Edelleen vanhojen päällysteiden vierintämelun kasvun on uskottu olevan seurausta sideaineen vanhenemisesta aiheutuvasta pintarakenteen jäykkyyden kasvusta. /12,45/

Sideaineen suhteen tulisi Sandbergin mukaan ottaa huomioon seuraavat seikat:

- Sideainetta, joka aikaansaa erityisen jäykän pintarakenteen, tulisi välttää.
- Ei ole osoitettu, että kumin lisääminen sideaineeseen vähentäisi melua. Toisaalta kumin käyttö osana kiviainesta on aikaansaanut erityisen hiljaisia päällysteitä. Kumia sisältävät päällysteet ovat kuitenkin ongelmallisia syttymis-herkkyytensä ja huonojen kitkaominaisuuksiensa takia.
- Huokoisilla päällysteillä sideaineen tulee olla sellainen, että se mahdollistaa suurimman mahdollisen huokoisuuden.
- Sideaineen tulisi olla sellainen, että se osaltaan ehkäisee päällystettä tukkeutumasta. Jos vaatimus on ristiriidassa edellisen kanssa, on tukkeutumisen ehkäisy etusijalla.

Päällysteen väri

Päällysteen värillä on todettu olevan vaikutusta melutasoon kahdella tavalla:

- Tumma päällyste absorboi tehokkaammin auringon lämpösäteilyä. Tutkimusten perusteella päällystemelu riippuu lämpötilasta gradientin $\sim -0,1$ dB/°C mukaisesti. On havaittu tumman päällysteen olevan usein kymmenenkin astetta vaaleaa lämpimämpi. Näin ollen eroksi tulisi gradientin perusteella 1 dB.
- Lisäksi tumma päällyste koetaan subjektiivisesti vaaleaa vähämeluisammaksi. Tanskassa on jopa maalattu betonipäällysteitä tienkäyttäjien ”manipuloimiseksi”

Edellä esitettyjen perusteella onkin pyrittävä mahdollisimman tummaan pintaan.

Äänen absorptio

Päällysteen pintarakenteen ohella huokoisuus ja siitä aiheutuva hyvä äänen absorptiokyky ovat keskeisiä tekijöitä päällysteen meluominaisuuksiin vaikuttaessa. On huomattavaa, että hyvin absorboiva päällyste ei vaimenna yksinomaan rengasmelua, vaan myös muuta ajoneuvon synnyttämää melua. Näin erityisesti, jos ääni leviää laajasti absorboivalle pinnalle. Suuri huokoisuus on hyvistä meluominaisuuksistaan huolimatta ristiriidassa päällysteeltä vaadittujen kestävyysominaisuuksien kanssa.

- Yli 20 % huokoisuus tekee päällysteestä tehokkaasti absorboivan. 25-30 % huokoisuutta pidetään yleisesti ylärajana rakenteen stabiiliteetin kannalta.

Tavoitteena pidetään maksimaalista äänen absorptiota ($\alpha=1$) taajuudella $f_{\alpha\max} = 1000$ Hz suurilla nopeuksilla ja $f_{\alpha\max} = 600$ Hz alhaisilla nopeuksilla. Absorptiokertoimen taajuusspektrin tulisi olla mahdollisimman laaja. Taajuusspektrin laajuuteen vaikuttavat päällysteen huokoisuus ja virtausvastus. (von Meier 1992)

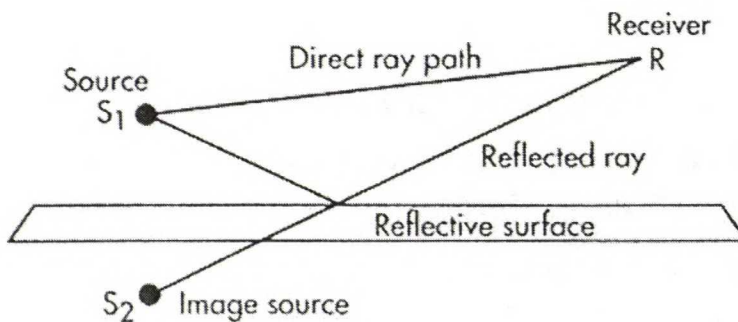
- Optimaalinen virtausvastus on $20\text{--}50 \text{ kNsm}^{-4}$ korkeilla nopeuksilla ja $12\text{--}30 \text{ kNsm}^{-4}$ alhaisilla nopeuksilla.
- Optimaalisen virtausvastuksen eli laajimman mahdollisen absorptiokertoimen leveyden kannalta maksimiraekoon tulisi olla alle $10\text{--}11 \text{ mm}$.

Taajuusoptimoidun absorption kannalta suositellaan:

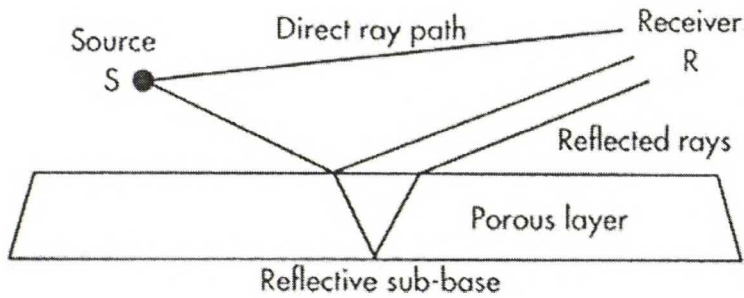
- Huokoisen kerroksen paksuuden tulisi olla 38 mm suurilla nopeuksilla ja 63 mm matalilla nopeuksilla (von Meier 1992), tai
- Kerroksen paksuuden tulisi olla vähintään 40 mm , mitä paksumpi sitä parempi (Sandberg 1996)

Käytettäessä huokoisia ja hyvin absorboivia päällysteitä tulisi niillä päällystää myös melun lähteen ja havaintopisteen, esimerkiksi pihan, välillä niin laajat alueet kuin käytännöllisesti ja taloudellisesti on mahdollista. Tällä tarkoitetaan tässä yhteydessä tien reunojen, kevyen liikenteen väylien ja parkkialueiden päällystämistä huokoisella päällysteellä.

Ero äänen heijastumisessa huokoisesta ja tiiviistä pintarakenteesta on esitetty kuvissa 12 ja 13. Tiivis pintarakenne heijastaa äänen pinnastaan. Pintarakenteen ollessa huokoinen osa äänestä imeytyy päällysteeseen. Imeytyneestä äänestä osa absorboituu ja osa heijastuu alemman kerroksen pinnasta.



Kuva 12. Äänen eteneminen, tavallinen päällyste /29/



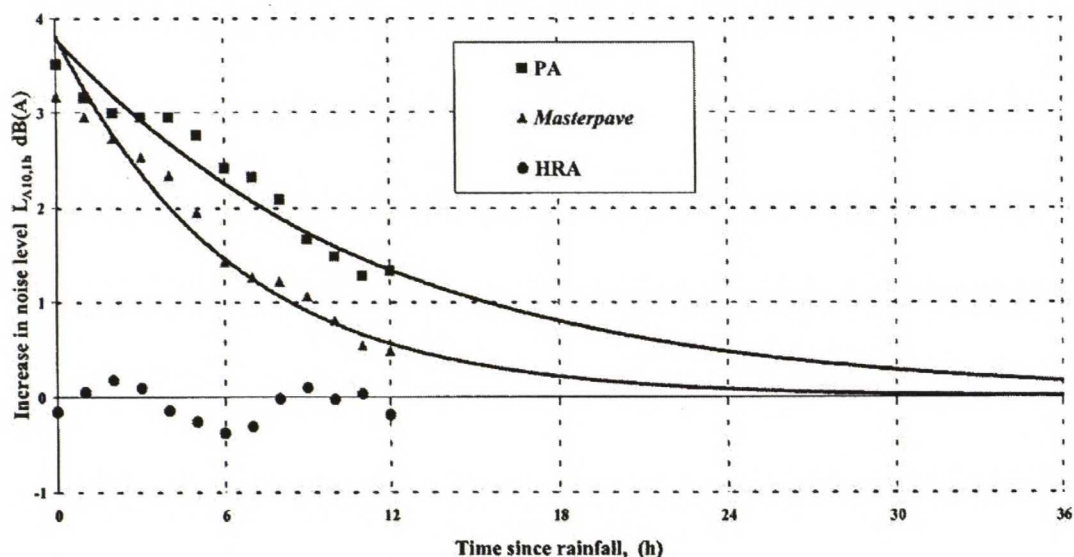
Kuva 13. Äänen eteneminen, huokoinen päällyste /29/

Muut päällysteiden meluominaisuuksiin vaikuttavat tekijät

Kuten edellä päällysteen väriä käsittelevässä kappaleessa on todettu, vaikuttaa päällysteen lämpötila melutasoon noin $-0,1 \text{ dB/}^{\circ}\text{C}$. Lämpötilan vaikutuksen arvellaan johtuvan päällysteen sideaineen pehmenemisestä johtuvasta päällysteen jäykkyyden vähenemisestä. /12,45/

Toinen vastaava päällysteiden meluominaisuuksiin vaikuttava säätökijä on päällysteen kosteus. Kostean tien pinnan vaikutus on otettu huomioon myös standardeissa. Esimerkiksi SPB-menetelmän määrittävä standardi vaatii mittausten suorittamista aikaisintaan neljän vuorokauden kuluttua sateen päättymisestä. /16/ Tien pinnan kosteuden vaikutusaika rengasmeluun on päällystetyyppikohtainen. TRL:n tekemä tutkimus selvittää rengasmelutasojen muuttumista ajan funktiona sateen päätyttyä (kuva 14). /1/

Kosteuden vaikutus 20 mm paksuiseen asfalttibetoniin (HRA - Hot Rolled Asphalt) havaitaan olemattomaksi. Sen sijaan 20 mm paksuisen avoimen asfaltin (PA - Porous Asphalt) ja 14 mm kivimastiksiasfaltin (Masterpave) rengasmelutasoihin päällysteen kosteus vaikuttaa huomattavasti. Välittömästi sateen jälkeen kostean päällysteen melutasoero kuivaan vastaavaan on sekä SMA:lla että avoimella asfaltilla 3,2 dB. Tavallisen asfalttibetonin muuttumattomat melutasot osoittavat huokoisten päällysteiden olevan päällysteen kosteuden kannalta ongelmallisia. /1/



Kuva 14. Rengasmelutasojen muutos eri päällystetyypeillä ajan funktiona sateen päättymisestä /1/

3.4 RENGASMELUUN VAIKUTTAVAT RENKAAN OMINAISUUDET

Renkaan ominaisuuksien vaikutus renkaan käyttöominaisuuksiin on taulukon 5 mukainen: Vesiliirto-ominaisuudet ovat renkaan suunnittelun ongelmakohta. Hyvä käsiteltävyys kuivalla tien pinnalla on vesiliirto-ominaisuuksien kanssa ristiriidassa oleva vaatimus. Edelleen rengasmelun kannalta hyvät vesiliirto-ominaisuudet (isot urat) ovat vastakkainen vaatimus matalalle rengasmelulle (hyvin suljettu pintakuvio). /6/ Samankaltaiseen päätelmään on päästy muissakin yhteyksissä. Saksalaisessa ajoturvallisuusmittauksessa tehtiin kokeita 12 eri renkaalla ja viidellä erilaisella päällystetyypillä. Tuloksina esitettiin vesiliirto- ja märkäpito-ominaisuuksien olevan ristiriidassa matalan rengasmelun kanssa. /8/ Toisaalta ruotsalaisen Sandbergin tutkimusten perusteella melun ja märkäkitkan välillä ei ole tilastollisesti merkittävää yhteyttä. /48/

Taulukko 5. Rakenteellisten ominaisuuksien vaikutus renkaan käyttöominaisuuksiin /6/

	Märkäpito	Melu	Kestoikä	Vierintä- vastus	Vesiliirto	Laatu
Pintakuvio	*	**	*	**	**	*
Profiili	**	**	*	*	**	*
Materiaali	**	*	**	**	*	*
Rakenne	*	*	**	*	*	*
Valmistus				*		**

* = vaikuttaa, ** = vaikuttaa paljon

TINO-tutkimuskokonaisuuden perusteella erot eri rengastyypin meluisuuden välillä ovat varsin pieniä. Erot renkaiden välillä olivat vain noin kolme desibeliä. Renkaiden meluominaisuuksien kehittämisen sijasta olisikin pyrittävä kehittämään hiljaisia päällysteitä. /28/ Ruotsalaisten tutkimusten perusteella erot renkaiden välillä voivat olla jopa 10 dB. Myös muissa maissa tehtyjen tutkimusten perusteella erot ovat selvästi kolmea desibeliä suurempia. Ruotsalaisten tutkimusten /48/ yhteenvedon todetaan, että renkailla voidaan saavuttaa jokseenkin yhtä suuri melun vähennys kuin päällysteilläkin. Tutkimusten perusteella ositettiin, että kaikkein hiljaisimmat renkaat ovat nastattomat talvirenkaat (kitkarenkaat). Syyksi kitkarenkaiden vähämeluisuuteen on arveltu pehmeämpää kumiseosta ja pintakuvioinnin lamelleja, jotka mahdollistavat ”pehmeämmän” kosketuksen tien pintaan. Sandberg on tutkinut myös renkaiden leveyden vaikutusta rengasmeluun. Aineisto käsitti 276 erilaista rengasta. Tutkimuksen perusteella 155 mm -levyisen renkaan melu on melkein kaksi desibeliä alhaisempi kuin 195 mm -levyisen renkaan.

4 RENGASMELUN MITTAAMINEN

4.1 YLEISTÄ

Ajoneuvo-, rengas- ja päällystemelun mittaamiseen on kehitetty useita erilaisia mittausmenetelmiä. Kyseiset menetelmät voidaan jakaa karkeasti kahteen ryhmään tarkastelupisteen etäisyyden perusteella. Ohiajomenetelmissä mitataan kokonaismelua ajoneuvon ohittaessa tarkastelupisteen. Vastaavasti lähimittausmenetelmissä mikrofonit on sijoitettu niin lähelle melun lähdettä, että kokonaismelun voidaan sanoa koostuvan ai-noastaan renkaan ja kosketuspinnan välisestä melusta.

Taulukkoon 6 on koottu tärkeimmät ajoneuvo-, rengas- ja päällystemelun mittausmenetelmät. Ohiajomittausmenetelmiä ovat CB-, SPB-, TCB-, ja CPB-menetelmät. Näissä kaikissa mikrofonit on sijoitettu 1,2 metrin korkeuteen 7,5 metrin etäisyydelle mittauskaistan keskilinjasta. CB- ja TCB-menetelmissä käytetään mahdollisuuksien mukaan kahta eri puolella symmetrisesti mittauskaistaan nähden sijaitsevaa mikrofonia. Lisäksi SPB-menetelmässä ohiajavista ajoneuvoista kerätään nopeustieto soveltuvalla menetelmällä. Lähimittausmenetelmissä, CPX- ja DR-menetelmät, mikrofonin etäisyys renkaasta on suurimmillaankin vain 0,4 metriä. Mittauskorkeutena tien pintaan nähden käytetään 0,1-0,2 metriä. Lisäksi menetelmissä määritetään mikrofonin sijaintikulma renkaaseen nähden. Taajuusalue kaikissa mittauksissa on 100-5000 Hz. Melun maksimi-arvot havaitaan yleensä 1000-2500 hertsin taajuuksilla. /4/

Taulukko 6. Tärkeimmät rengas- ja päällystemelun mittaamenetelmät /4/

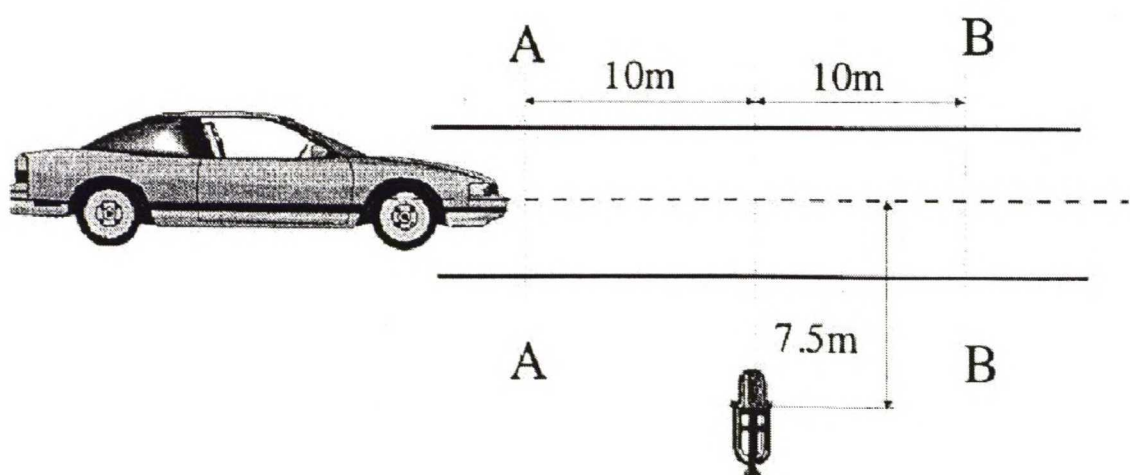
MENETEL- MÄ	Menetelmän periaate	Soveltuvuus	Standardit tai vast.
<i>Coast-by</i> <i>CB</i> <i>rullausmene- telmä</i>	Ajoneuvo, jonka moottori on sammutettu, ohittaa tien viereen sijoitetun mikrofonin. Testinopeus voi vaihdella. Tavallisesti maksimiäänäni mitataan ja regressiosuorasta määritetään referenssiäänenvoimakkuudet; 80 km/h kevyille ja 70 km/h raskaille ajoneuvoille.	Renkaiden tyyppitestausta, yleistestaus, yksityiskohtainen tutkiminen Päällysteiden yksityiskohtainen tutkiminen	ISO/CD 13325 EU direktiiviehdotus ECE säännösluonnos
<i>Controlled</i> <i>Pass-by</i> <i>CPB</i> <i>kontrolloitu ohiajo</i>	Kaksi valittua ajoneuvoa (kevyt ja raskas) varustettuina määritellyillä renkailla (2 sarjaa per ajoneuvo) ohittaa tien viereen sijoitetun mikrofonin moottorit päällä. Maksimiäänenvoimakkuus mitataan. Lasketaan keskimääräinen arvo tietyille nopeudelle.	Päällysteiden yksityiskohtainen tutkiminen	Ranskalainen standardi S 31 119 Saksalainen standardi GestrO`92
<i>Statistical</i> <i>Pass-by</i> <i>SPB</i> <i>tilastollinen ohiajo</i>	Normaalit liikenteessä olevat ajoneuvot, joita muut eivät läheisyydellään häiritse, ohittavat tien viereen sijoitetun mikrofonin. Ajoneuvon tyyppi, nopeus ja maksimimelutaso tallennetaan. Normalisoitu äänentaso nopeuksille 50, 80 ja 110 km/h lasketaan regression avulla. Havainnot yli 100 kevyestä ja yli 80 raskaasta ajoneuvosta.	Tien pintojen tyyppitestausta Päällysteiden yleinen tutkiminen	ISO 11819-1 CEN/TC 227 WI 116/1
<i>Close-Proximity</i> <i>CPX</i> <i>lähimittaus</i>	Testirengas on sijoitettu perävaunuun tai ajoneuvon pyöräksi. Mikrofonit on sijoitettu renkaan lähelle. Keskimääräinen äänentaso mitataan. Referenssinopeudet ovat 50, 80 ja 110 km/h.	Renkaiden yksityiskohtainen tutkiminen Päällysteiden yksityiskohtainen tutkiminen, tarkistukset	ISO 11819-2 CEN/TC 227 WI 116/2
<i>Trailer Coast-by</i> <i>TCB</i> <i>trailerirullaus</i>	Kuorma- tai pakettiauto hinaa kaksipyöräisen perävaunun testialueen yli. Pitkä hinauspuomi yhdistää vaunun ja vetoauton. Testiakselin maksimiohitusmelu mitataan korjattuna vetoauton aiheuttamalla melulla.	Renkaiden yleinen ja yksityiskohtainen tutkiminen	ISO/CD 13325, ref 5
<i>Laboratory Drum</i> <i>DR</i>	Testirengas pyörii lieriön sisällä laboratoriossa. Mikrofonit on/ovat renkaan lähellä. Keskimääräinen äänenvoimakkuus mitataan. Lieriö pinnoitetaan vastaamaan tien pintaa. Lämpötila ja pinta ovat vakiot.	Renkaiden yleinen ja yksityiskohtainen tutkiminen	ECE/WP29/GRB, doc R.100

Tässä yhteydessä menetelmistä käsitellään tarkemmin ne, jotka soveltuvat päällysteen ominaisuuksien arviointiin ja tutkimuksiin. Kuten edellä olevasta voidaan havaita, kyseeseen tulevat menetelmät ovat CB, CPB, SPB ja CPX.

4.2 CB- JA CPB-MENETELMÄT

CB- ja CPB-menetelmät edustavat mittaustyyppiltään yksittäisen ajoneuvon ohiajomittausta, jossa ajoneuvon aiheuttama A-painotettu maksimimelutaso mitataan. CPB-menetelmässä ajoneuvot ajetaan tasaisella nopeudella aloituslinjalle, jolta aloitetaan täydellä kaasulla kiihdyttäminen, jota jatketaan 20 metrin matka. Mikrofonit sijaitsevat 7,5 metrin etäisyydellä tien keskilinjasta molemmin puolin tietä 10 metriä aloituslinjasta. Mittaukset tehdään aukealla alueella tien pinnan ominaisuuksien ollessa tarkoin määritetyt. Toisin kuin edellä olevassa taulukossa on todettu, maksimaalisen kiihdytyksen johdosta menetelmä ei sovellu päällysteiden tutkimiseen vaan pikemmin ajoneuvojen meluisuuden määrittämiseen. /37,42/

Rengasmelun tutkimiseen on CPB-menetelmästä kehitetty modifioitu ohiajomittaus, CB-menetelmä, jossa moottoriäännet eliminoidaan antamalla ajoneuvon rullata vapaasti moottori sammutettuna. Menetelmässä käytetään vain yhtä mikrofonia (kuva 15), muutoin järjestely on CPB-menetelmän kaltainen. Huolimatta rengasmelun mittaamisen kannalta selkeistä parannuksista CPB-menetelmään verrattuna, sisältyy CB-menetelmään kuitenkin monenlaista epävarmuutta. Mittaus on herkkä ulkopuolisille häiriöille kuten esimerkiksi taustamelulle, jonka vuoksi mittaukset tulisi suorittaa yöaikaan. Päällysteitä vertailtaessa tulisi käyttää aina samaa autoa ja renkaita. Lisäksi auton käyttöä tulisi mittausten ulkopuolella välttää auton meluominaisuuksien muuttumisen ja renkaiden kulumisen takia. /37,42/



Kuva 14. CB-menetelmän periaatekuva /42/

4.3 SPB-MENETELMÄ

SPB-menetelmä eli tilastollinen ohiajomenetelmä on periaatteeltaan jo varsin vanha. Englannissa sitä käytettiin silloisen TRRL:n toimesta jo 1970-luvulla. Virallisesti menetelmä standardisoitiin kuitenkin vasta vuonna 1997. Standardi ISO-11819-1 määrittää tilastollisen ohiajomenetelmän mukaisen testauksen. Määritelmän mukaisesti mitataan liikennevirtaa, jonka yksittäisten ajoneuvojen melutaso ja nopeus mitataan. /29/

Käytännössä menetelmässä valitaan yksittäinen ajoneuvo, joka kulkee muiden häiritsemättä ja riittävän etäällä muusta liikenteestä, ja mitataan sen nopeus ja A-painotettu maksimimelutaso ($L_{A,max}$, fast-painotuksella (250 ms)). Mittaus tehdään kussakin mitauspisteessä tilastollisesti riittävän monta kertaa, jottei satunnaisten virheiden määrä kasva liian suureksi. Standardin mukaisesti ajoneuvojen minimimäärät ovat seuraavat: /16/

- Luokka 1 (henkilöautot)	min 100
- Luokka 2a (kaksiakseliset raskaat ajoneuvot)	min 30
- Luokka 2b (moniakseliset ajoneuvot)	min 30
- Luokka 2a ja 2b yhteensä (raskaat ajoneuvot)	min 80

Mittausten keskinäisen vertailun mahdollistamiseksi lämpötilakorjataan melutulokset ja poistetaan tulokset, joissa tuulen nopeus ylittää 5 m/s. Lämpötilakorjauksen osalta standardi on vielä pohdittavana. Eri luonnosten perusteella lämpötilakorjauskerroin pintalämpötilalle tulee olemaan 0,04-0,06 dB(A)/°C ja ilman lämpötilalle 0,06-0,08 dB(A)/°C referenssilämpötilaan +20 °C nähden. Korjaus on negatiivinen, jos lämpötila alittaa referenssilämpötilan ja vastaavasti positiivinen, kun lämpötila on referenssilämpötilaa korkeampi. Mittaustuloksista määritetään regression avulla (melutaso-nopeus -kuvaaja) kullekin ajoneuvoluokalle L_{veh} -arvo käyttäen tiettyä referenssinopeutta. Referenssinopeudet ja painotekijät W_x eri tienopeusluokille ovat taulukon 7 mukaiset. /16/

HILJA – projektin yhteydessä suoritetuissa SPB – mittauksissa on käytetty seuraavaa lämpötilakorjausta (kaava 4): /38/

$$L = L_m + K_R \Delta T_R + K_A \Delta T_A \quad (4)$$

L = korjattu melutaso

L_m = mitattu melutaso

K_R = tienpinnan lämpötilavakio 0,04 dB(A)/°C

ΔT_R = erotus mitatun tienpinnanlämpötilan ja referenssilämpötilan 20°C välillä $\Delta T_R=(T_R-20)$

K_A = ilman lämpötilavakio 0,06 dB(A)/°C

ΔT_A = erotus mitatun ilman lämpötilan ja referenssilämpötilan 20°C välillä $\Delta T_A=(T_A-20)$

Taulukko 7. Referenssinopeudet ja painotekijät W_x eri tienopeusluokissa /16/

Ajoneuvoluokka		Tienopeusluokka					
		Matala		Keskimääräinen		Korkea	
Luokka	No.	Ref.nopeus km/h	W_x	Ref.nopeus km/h	W_x	Ref.nopeus km/h	W_x
Henkilöautot	1	50	0,900	80	0,800	110	0,700
Kaksiakseliset raskaat ajoneuvot	2a	50	0,075	70	0,100	85	0,075
Moniakseliset raskaat ajoneuvot	2b	50	0,025	70	0,100	85	0,225

Lopuksi tuloksista lasketaan Tilastollinen ohiajoindeksi SBSI (kaava 5), jolloin voidaan tarkastella tien pinnan vaikutusta yleiseen (sekaliikenteen) melutasoon. On kuitenkin huomattava, että painotekijöiden arvot saattavat vaihdella huomattavasti maasta ja paikasta toiseen ja päiväajasta yöaikaan. Taulukon 7 arvot edustavatkin globaalisti tyypillistä tapausta. /16/

$$SBSI = 10 \lg [W_1 * 10^{L1/10} + W_{2a(v_1/v_{2a})} * 10^{L2a/10} + W_{2b(v_1/v_{2b})} * 10^{L2b/10}] \text{ dB}$$

(5)

- $SBSI$

on tilastollinen ohiajoindeksi kevyiden ja raskaiden ajoneuvojen standardijakaumalle
- $L_{1,2a,2b}$

ovat ajoneuvoluokkien äänitasot L_{veh}
- $W_{1,2a,2b}$

ovat yllä olevan taulukon mukaiset ajoneuvoluokkien oletetut suhteet liikenteessä
- $V_{1,2a,2b}$

ovat yksittäisten ajoneuvoluokkien referenssinopeudet yllä olevan taulukon mukaisesti

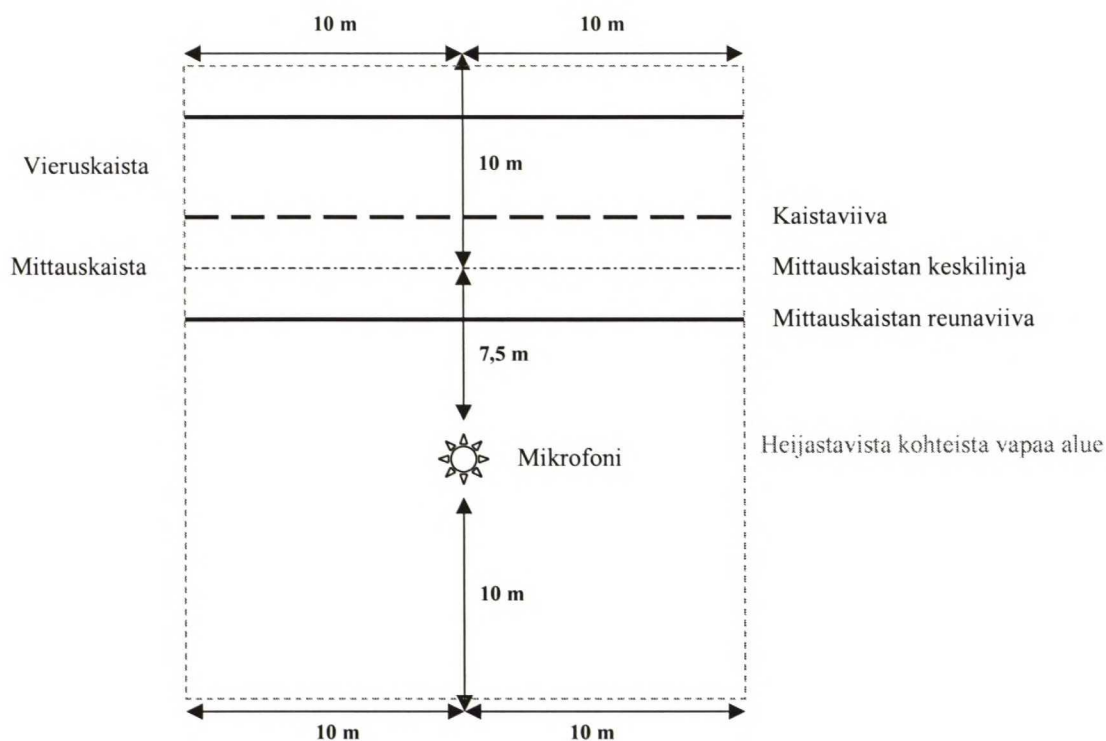
HILJA-projektissa menetelmää sovellettiin jättämällä raskaat ajoneuvot kokonaan tarkastelun ulkopuolelle. Näin saavutettiin merkittävä säästö mittausajoissa. Toisaalta menettelyn vuoksi ei tuloksista ole laskettu ohiajoindeksiä, vaan tuloksia tarkastellaan kevyiden ajoneuvojen maksimimelutasoina, joista regression avulla määritetään referenssinopeuden, yleensä 50 km/h, maksimimelutaso.

Mittauspaikan suhteen SPB-menetelmä asettaa varsin tiukat vaatimukset. Standardin mukaisesti tulee huolehtia seuraavista asioista: /16/

- a) Testiosuuden tulee ulottua vähintään 30 metriä mikrofonin sijaintipaikasta molempiin suuntiin. Kun kyseessä on korkean nopeusluokan (≥ 100 km/h) tie, tulee etäisyyttä lisätä 50 metriin.
- b) Tien tulee olla erittäin tasainen ja suora. Tiet, joissa on loivia kaarteita tai joiden pituuskaltevuus on ≤ 1 % voidaan hyväksyä.
- c) Tasaisella nopeudella liikkuvien ajoneuvojen lukumäärän tulee olla sellainen, että päästään kohtuulliseen mittausaikaan.
- d) Taustamelun tulee olla vähintään 10 dB(A) alhaisempi kuin ajoneuvon ohituksesta aiheutuva maksimimelutaso $L_{\max, \text{fast}}(A)$. Lisäksi yksittäisen ajoneuvon tulee aiheuttaa yli 6 dB(A) muuta liikennevirtaa suurempi maksimimelutaso. Mittaustilanteessa tulee lisäksi muuhun liikennevirtaan nähden poikkeavasti kulkevat tai poikkeavaa ääntä synnyttävät ajoneuvot poistaa mittaus tuloksista.
- e) Tien pinnan tulee olla hyvässä kunnossa ja tasalaatuinen, ellei ole tarkoitus nimenomaan tutkia tien kunnon vaikutusta melutasoon.
- f) Liikennevirran jakauman suositellaan olevan sellainen, että kustakin ajoneuvoluokasta voidaan tehdä luokkakohtaiset mittauksen minimimäärät täyttävä analyysi.

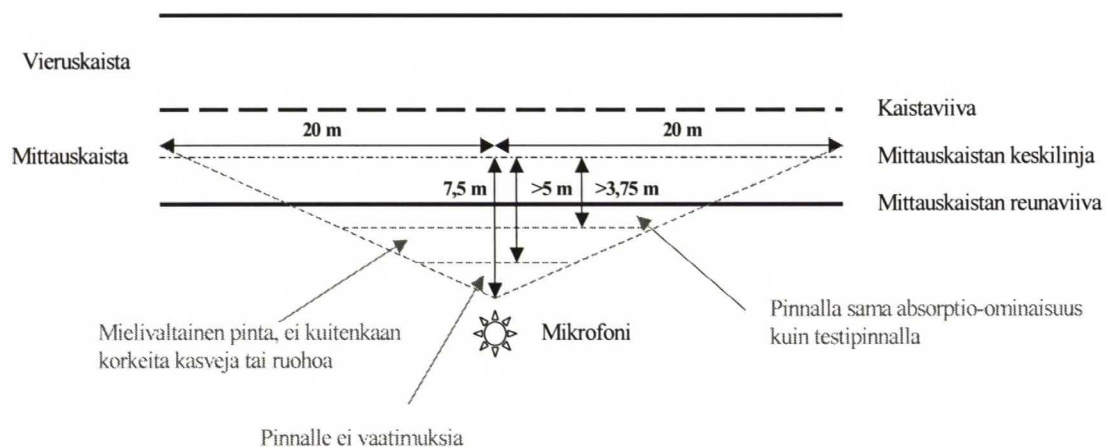
Lisäksi standardissa mainitaan, että juuri tehdyiltä päällysteeltä suoritettujen mittauksen kelpoisuus on rajallinen. Tästä syystä esimerkiksi Englannissa on päädytty mittaamaan päällysteitä joiden ikä on vähintään 12 kuukautta. /16,34/

Päällysteiden testausta varten suoritettavissa mittauksissa mikrofonin tulee sijaita akustisesti vapaalla alueella. Käytännössä tämä tarkoittaa, että heijastusten aiheuttama äänenvoimakkuus on vähintään 10 dB alhaisempi kuin mitattavat äänet. Ohjevaatimuksena voidaan pitää 25 metrin vapaata tilaa kaikista heijastavista kohteista. Myöskään turvakaiteita tai vastaavia ei saa sijaita mikrofonin ja mittauskaistan välisellä alueella. Muualla kuvan 16 osoittamalla alueella sijaitsevat kaiteet ja vastaavat tulee myös poistaa tai peittää ääntä tehokkaasti vaimentavalla materiaalilla. /16/



Kuva 16. Heijastavista kohteista vapaa alue /16/

Standardi asettaa vaatimuksen myös mittauspistettä ympäröivälle pinnalle (kuva 17).

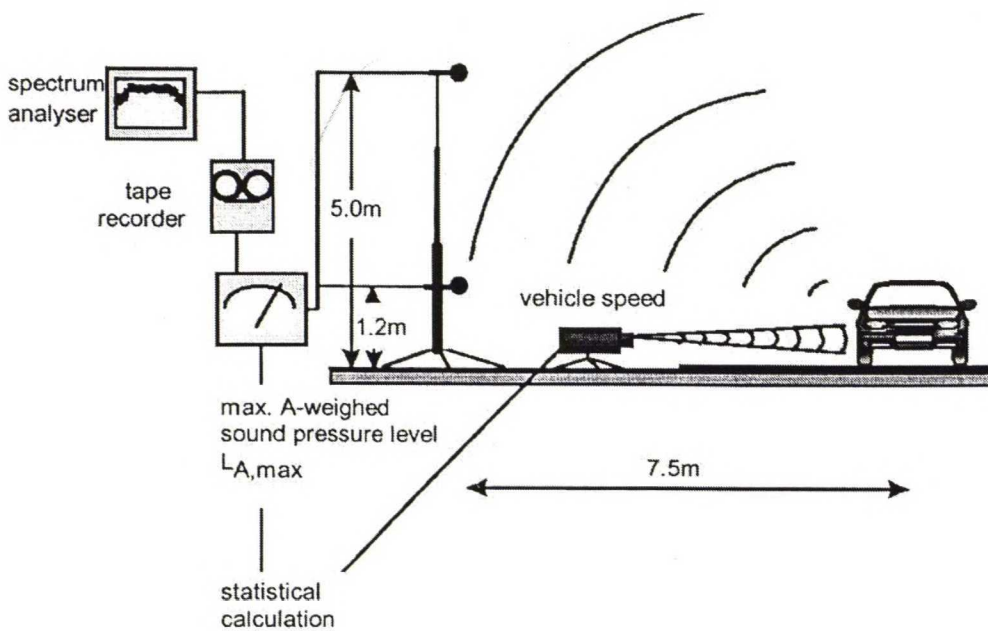


Kuva 17. Mittauspisteen lähialueen pintavaatimukset /16/

SPB-menetelmässä tarvitaan: /16,42/

- äänitasomittari tai vastaava, jonka tulee täyttää IEC 60651:n mukaisen Tyypin 1-välineen vaatimukset
- taajuusanalyysivälineistö, taajuusalue 50-10 000 Hz
- äänitasovälineistön kalibrointilaite
- ajoneuvon nopeuden mittauslaitteisto esim. tutka tai mikronipari
- lämpötilan mittauslaitteisto
- tuulimittari

Kuvassa 18 on esitetty SPB-menetelmässä käytettävä mittausjärjestely.

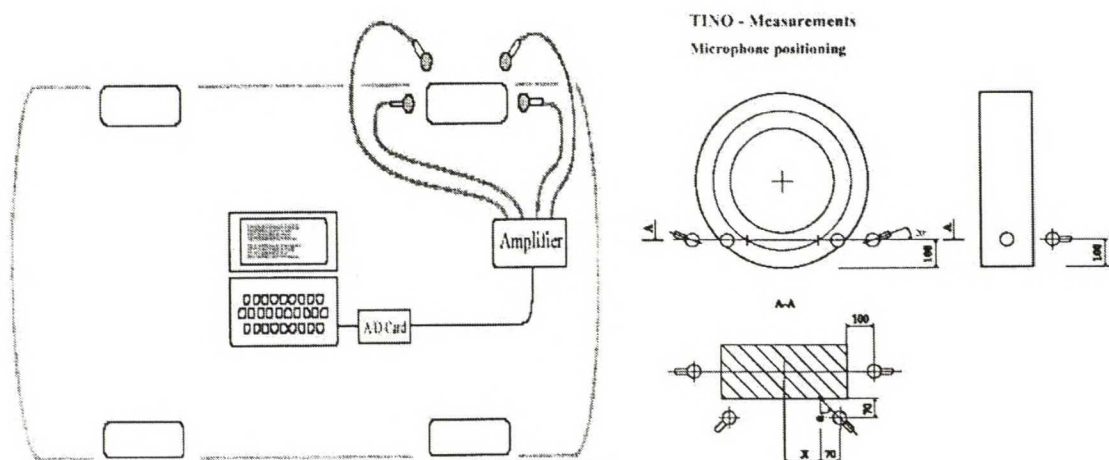


Kuva 18. SPB-menetelmässä käytettävä mittausjärjestely /42/

Yleisesti SPB-menetelmää pidetään yksikertaisena ja tulokseltaan edustavana rengastie -kosketuksessa syntyvän melun mittausmenetelmänä. ISO-hyväksyttynä menetelmänä se tarjoaa pohjan päällystemelun tyyppihyväksynnälle. Menetelmän heikkoudet liittyvät edellä esitettyihin koalueelle asetettaviin vaatimuksiin ja mittauskohdan huonoon edustavuuteen laajempaa tieosaa ajatellen. Päällysteen epähomogeenisuudesta johtuvan päällystemelun vaihtelun takia menetelmää ei voida yleisesti käyttää akustisten ominaisuuksien määrittelyssä ja tarkastamisessa tietyllä tieosuudella. /52/

4.4 CPX-MENETELMÄ

Osana EU:n Brite-ohjelmaan kuulunutta TINO-projektia tutkittiin melun riippuvuutta renkaan ja tien pinnan välisestä kosketuksesta sekä mittausmenetelmiä ja hiljaisia päällysteitä. Projektissa luotiin ns. TINO-menetelmä, jossa renkaan ympärille, lähelle tien pintaa sijoitettiin neljä mikrofonia (kuva 19). Mikrofonien sijoittaminen lähelle rengasta mahdollisti ajoneuvon muiden äänilähteiden aiheuttaman melun eliminoinnin ja pystyttiin aiempaa tarkemmin mittaamaan nimenomaan rengas-tie -kosketuksessa syntyvää melua. Lisäksi mittalaitteiston rakenne (ei erillistä mittapyörää) mahdollisti sen sijoittamisen eri autoihin. /42/

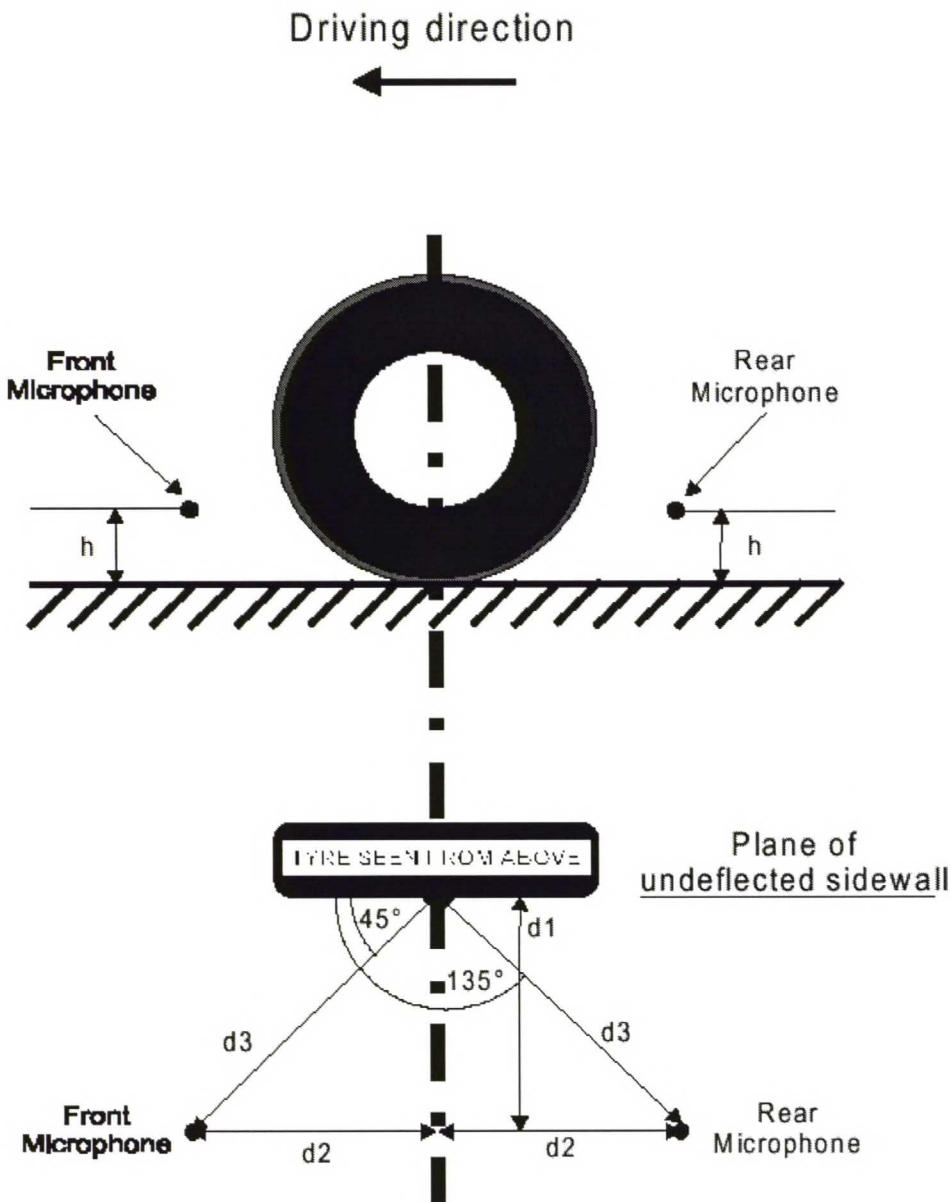


Kuva 19. TINO-menetelmän periaate ja mikrofonien sijoittaminen renkaan ympärille /42/

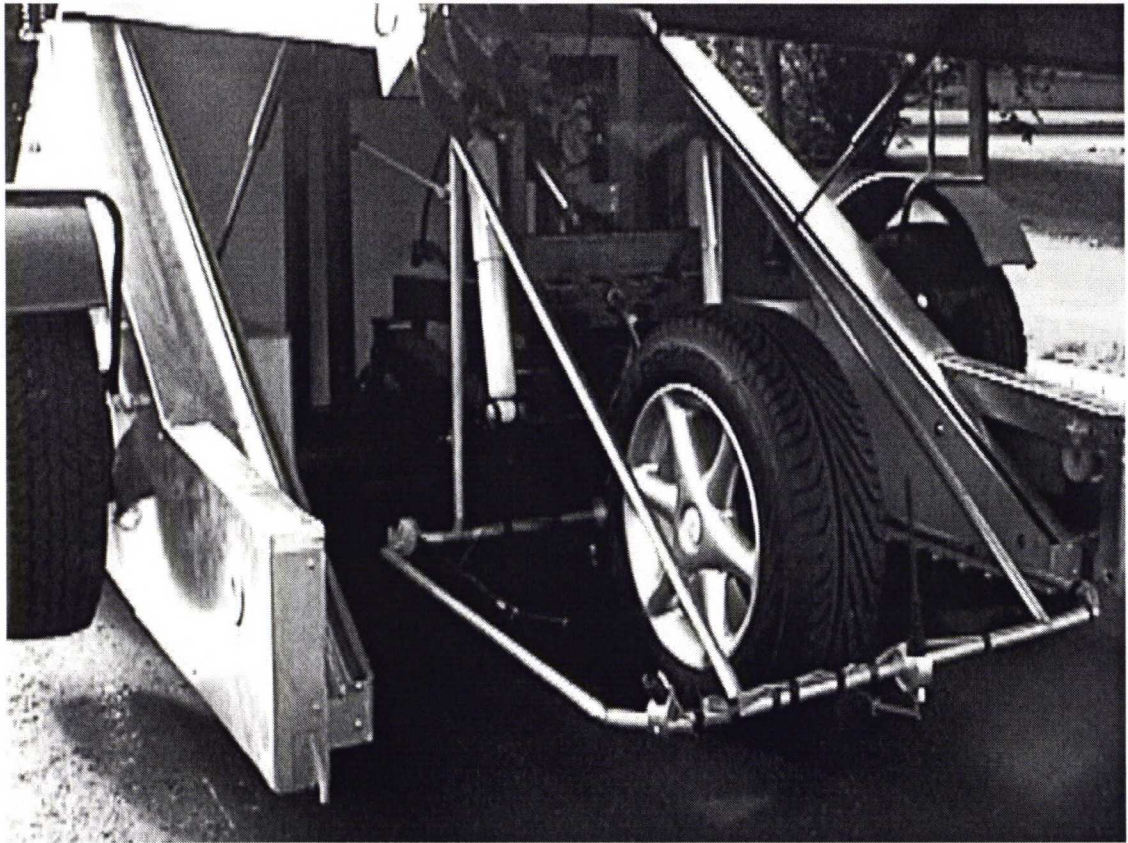
Samanaikaisesti TINO-projektin kanssa, ISO-standardisimisjärjestelmän puitteissa, työskenteli työryhmä, joka kehitti standardia (ISO/CD 11819-2, *luonnos*) CPX-menetelmän määrittelemiseksi. /42/ CPX-menetelmä on hyvin samankaltainen TINO-menetelmän kanssa. Molemmissa menetelmissä mitataan rengas-tie-kosketuksessa syntyvää A-painotettua ekvivalenttimelutasoa läheltä rengasta (CPX, Close proximity). Merkittävimmät erot näiden kahden menetelmän välillä ovat CPX-menetelmässä käytettävä erillinen mittausperävaunu ja mikrofonien lukumäärä, joka CPX-menetelmässä on vain kaksi TINO-menetelmän neljän sijasta (kuvat 20). /42/

Menetelmien yhteneväisyyden ansiosta CPX-menetelmällä saavutetaan samoja etuja kuin TINO-menetelmällä. Mittauspisteiden sijainti lähellä rengasta pienentää taustamelun vaikutuksen erittäin vähäiseksi. Mikrofonien sijoittaminen äänieristetyyn kuonun alle mahdollistaa melumittauksen normaaliliikenteessä sekä esimerkiksi katukuilussa, jossa muiden menetelmien käyttö on hankalaa tai suorastaan mahdotonta. CPX-menetelmän suurin haitta on sen vaatima melko kallis ja monimutkainen mittauslaitteisto. Menetelmän vaatimusten kaltaisia mittausperävaunuja on maailmalla noin 20, joista vain kahdeksan osallistuu menetelmän kehittämiseen aktiivisesti. /42/

Kalliista mittauslaitteistosta huolimatta mittausten suorittaminen on esimerkiksi SPB-menetelmään verrattuna huokeampaa menetelmän vaatiman lyhyen mittausajan takia. Tutkittavalla pinnalla ajetaan noin 10 sekunnin ajan halutulla referenssinopeudella (50, 80 tai 110 km/h) ja tulokset ovat luettavissa välittömästi tämän jälkeen. Lyhyen mittausajan vuoksi menetelmällä voidaan tutkia myös laajempia tieosuuksia kattavasti ja myös varsin nopeasti. SPB-menetelmää käytettäessä on juuri sen vaatima pitkätkö mittausaika koettu ongelmalliseksi.



Kuva 20. Mikrofonien sijoittelu CPX-menetelmässä /42/



Kuva 21. Mittapyörä, NOTRA /42/

Suomen ainoa CPX-menetelmän mukainen mittausperävaunu on Teknillisen korkeakoulun autotekniikan laboratorion omistuksessa. Autolaboratorion melunmittausperävaunu **HUT NOTRA** (Helsinki University of Technology, Noise Trailer) (kuvat 21 ja 22) rakennettiin MOBILE²-tutkimushankkeen yhteydessä. Rakentaminen oli osa *Tien pintojen melun kehittyminen* -projektia. Kokonaisuudessaan vuoden 2002 syksyyn jatkuva MOBILE²-tutkimushanke käsittelee liikenteen eri päästöjä ja niiden vähentämistä. Mittausperävaunu mittaa valitun mittausajan päällysteen ekvivalenttimelutasoa yhden sekunnin jaksoissa. Rengasmelutason vaihtelu mittausjaksoittain on niin pientä, että mitattu ekvivalenttimelutaso on käytännössä sama kuin jakson maksimimelutaso.

/42/



Kuva 22. Teknillisen korkeakoulun autotekniikan laboratorion mittausperävaunu /41/

Englantilainen TRL on suunnitellut erityisesti rengas-tie -melun tutkimiseen tarkoitettua Triton-ajoneuvon, joka perustuu CPX-menetelmään. Tritonin pohjana on 10 tonnin painoisen kuorma-auton alusta, jonka rakennetta on muutettu siten, että paino on saatu putoamaan 7,5 tonniin. Painon vähennys on sikäli merkittävä, että se sallii mittaukset laillisesti 100 kilometrin tuntinopeudella. Laitetta rakennettaessa ja erityisesti sen korin suunnittelussa on otettu huomioon mittarenkaan ja muiden mittauslaitteiden suojaaminen. Testirengas on sijoitettu kaiuttomaan tilaan, jossa neljä mikrofonia on sijoitettu kahteen CPX-menetelmän edellyttämään paikkaan. Melu ja nopeus mitataan 10 metrin jaksoissa tutkittavalla tieosuudella. Ilman ja tien pinnan lämpötiloja, renkaan painetta ja kuormaa seurataan jatkuvasti ajoneuvossa olevasta kontrollitilasta. Tuplavuoratun koteloinnin ja erityisen suojakilven ansiosta ulkoiset melulähteet voidaan eliminoida käytännössä kokonaan, joten mittauksia voidaan suorittaa vilkkaankin liikenteen seassa. /52/

5 PÄÄLLYSTEIDEN KULUMINEN

5.1 YLEISTÄ

Urautumisella (deformaatio ja nastarengaskuluminen) tarkoitetaan tien poikkisuuntaista epätasaisuutta, joka esiintyy päällysteessä muuta pintaa alempana säännöllisinä pituussuuntaisina urina liikenteen eniten käyttämillä alueilla. /26/ Toisin kuin nastarengaskulumista, deformaatiota ei ole koettu hiljaisten päällysteiden ongelmaksi ja siksi se on jätetty asiayhteyden vuoksi tarkastelun ulkopuolelle. Pienen maksimiraekoon käyttö tekee massasta varsin hyvin deformoitumista kestävä. On jopa osoitettu, että hiljainen päällyste deformoituu jaksollisessa virumiskokeessa vain noin puolet siitä mitä SMA 16. /22,23/

Kuten jo aiemmin on todettu, on hiljaisten päällysteiden suurin ongelma voimakas kuluminen. Ongelma näyttää korostuvan Suomessa, jossa nastarenkaiden osuus kaikista kevyiden ajoneuvojen talvirenkaista on suuri, noin 88 %. Ylipäätään nastarenkaiden käyttö on viime vuosina hieman vähentynyt. VTT:n tekemän selvityksen mukaan talvella kitkarenkain varustettujen kevyiden ajoneuvojen osuus on talven 1992-1993 neljästä prosentista kasvanut 12 prosenttiin (talvi 2000/2001). Vastaavat luvut pakettiautojen osalta ovat päinvastaiset. Kitkarenkaiden osuus on vähentynyt 11 prosentista 6 prosenttiin. /27/

Kulumisongelman korostumista Suomessa tukee myös se tosiasia, ettei yhdessäkään tässä työssä käytetyistä ulkomaisista lähteistä kulumista ole todettu ongelmaksi. Toisaalta on selvää, ettei muissa hiljaisissa päällysteistä tutkivissa maissa nastarenkaiden osuus ole niin suuri kuin juuri Suomessa. Suurimmassa osassa näistä maista nastarenkaita ei käytetä lainkaan tai niiden käyttö on kielletty.

Ensikokeiluissa saadut huonot kokemukset ovat osaltaan synnyttäneet hiljaisten päällysteiden vastaisia mielipiteitä sekä yleisesti että asfalttialalla. Tiehallinnon internet-sivuilla julkaistiin 30.8.2001 kirjoitus otsikolla: "Hiljainen päällyste kuluu liian nopeasti". Samoihin aikoihin Helsingin sanomat julkaisi samansisältöisen kirjoituksen. Yhteistä näille kirjoituksille oli, että ne pohjautuivat Teknillisen korkeakoulun tielaboratorion tutkimukseen (*Melua vähentävien päällysteiden vaikutus ympäristömeluun, kulumisraportti*; TKK, tielaboratorio T112). Kyseisen tutkimuksen perusteella kirjoitukset olivat täysin oikeutettuja. Tulokset osoittivat hiljaisen päällysteen (SMA 5) kuluvan noin 10-kertaa nopeammin kuin SMA 16 ja noin 6-kertaa nopeammin kuin SMA 11. Lisäksi SMA 5:n todettiin tutkitulla kulumisnopeudella kestävän Kehä I:n kaltaisilla vilkkaasti liikennöidyillä teillä (KVL ~ 65 000 ajoneuvoa) ehkä vain yhden talven. /15/

On kuitenkin todettava, että kyseessä oli yksittäisten koekohteiden (Kulomäentie, Vantaa ja Kehä I, Espoo) antama tulos. Lisäksi tutkimus oli aiemmin mainitun Kehä III:n tutkimuksen ohella ensimmäisiä laajamittakaavaisia hiljaisten päällysteiden kulumistutkimuksia. Kyseisen kaltaisten päällysteiden kehitystyö oli Suomessa vasta alkamas-

sa ja siksi kovin pitkälle meneviä päätelmiä ei olisi ollut syytä tehdä. Lisäksi Kehä I:n kohdalla tulosta ilmeisesti heikensi kuidun huono sekoittuminen. Kaiken kaikkiaan hiljaisten päällysteiden ensimmäisille kulumistutkimuksille yhteistä oli päällystettyjen osuuksien sijoittaminen erittäin vilkkaasti liikennöidyille tieosuuksille (Kehä I ja Kehä III), mikä ei luonut kovin hyviä lähtökohtia hiljaisten päällysteiden yleistymiselle Suomessa.

5.2 KULUMISEEN VAIKUTTAVAT PÄÄLLYSTEEN OMINAISUUDET

Kulumisnopeuteen vaikuttavia päällysteen ominaisuuksia on tutkittu laajasti vuosina 1987-1992 Asfalttipäällysteiden tutkimusohjelman ASTOn yhteydessä. /32/ Tutkimusohjelma käynnistettiin 1980-luvun alkupuolella havaitun asfalttipäällysteiden kunnon huomattavan heikkenemisen seurauksena. Lähtöajatus tutkimusohjelmalle oli, että suurin ongelma päällystetekniikassa on materiaaleissa ja että paras lopputulos saadaan poikkitieteellistä erikoisosaamista hyödyntämällä.

Kiviaineksen vaikutus kulumiseen /32/

Päällysteiden nastarengaskulumisen kannalta tärkein komponentti on kivi. Tutkimusohjelman yhteydessä tutkittiin 35 eri kivityyppiä. Tulosten perusteella päällysteen kestävyyttä kiven kannalta parhaiten selitti pistekuormitusindeksi.

Kiviaineksen vaikutusta päällysteen kulumiseen tutkittiin neljällä ASTO-koetiellä; Keravalla, Kouvolassa, Jämsässä ja Siilinjärvellä. Päällysteiden kuluminen mitattiin paksuusprofilometrin avulla. Seuraavassa on esitetty yhteenlaskettujen kulumisarvojen vaihteluväli Keravan, Kouvolan ja Jämsän koeteiltä:

- Kerava: 76 – 151 cm²
- Kouvola: 72-144 cm²
- Jämsä: 98-126 cm²

Tässä yhteydessä ei paneuduta tarkemmin tutkimuksessa käytettyihin ASTO-kiviaineksiin. Tulosten perusteella voidaan kuitenkin todeta kiviaineksen vaikutus kulumiseen. Heikkoa kiveä käytettäessä kuluminen voi olla jopa kaksinkertaista lujaan kiveen verrattuna. Kiviaineksen keskeinen osa päällysteiden kulumisessa osoittaa myös Tiehallinnon käyttämällä laskennallista kulumisnopeutta ennustavalla kaavalla (kaava 6): /40/

$$\text{Laskennallinen kulumisnopeus } KN = MT(13,4+1,7KM)$$

(6)

KN on kulumisnopeus [mm]

MT on massatyypikerroin (SMA 16 = 1,1 , AB 16 = 1,3...)

KM on kuulamylyarvo

Kaavan perusteella päällysteen kulumisnopeus massatyypeittäin voidaan määrittää kiviaineksen kuulamylyarvon perusteella jättäen muut tekijät huomiotta.

Hienoaineksen (<0,074 mm) osalta tulokset ovat saman suuntaisia. Täytejauhekoeteiden tulokset on esitetty seuraavassa: /32/

- Kausala: 81-142 cm²
- Varkaus: 89-151 cm²

Kiviaineksen osalta tutkittiin myös murskaustavan vaikutusta päällysteen kulumiseen. Aineisto oli melko suppea. Tosin näissä tutkimuksissa voitiin kuitenkin todeta jälkimurskaimen käytöllä ja kubisoinnilla (ts. kuutioinnilla) olevan kulumista vähentävä vaikutus. Tässä yhteydessä on hyvä muistaa kubisoinnilla olevan myös melutason vähentämisen kannalta positiivinen vaikutus, kuten on todettu kappaleessa 3.3 Rengasmeluun vaikuttavat päällysteen ominaisuudet.

Sideaineen vaikutus kulumiseen /32/

Sideaineen vaikutus päällysteen kulumiseen on varsin vähäinen. ASTO-koeteiden yhteydessä mitatut kulumisarvot vaihtelivat +/- 5 %. Poikkeuksena eräs polymeerimodifioitu (kumi)bitumi, joka paransi kulumiskestävyyttä 10 % ja B-120 ECO-bitumi, joka on A-bitumin jalostuksen lopputuote ja joka huononsi kulumiskestävyyttä noin 20 % keskiarvoon verrattuna. Tutkimuksessa havaittiin lisäksi tavallisten bitumien asettuvan kovuutensa mukaiseen järjestykseen kulumisominaisuuksia tarkasteltaessa. Parhaaksi kulumisen selittäjäksi todettiin bitumin penetraatio (25°C TFOT). Sideainepitoisuudella ei havaittu olevan suurta vaikutusta kulumiseen, vaikka sideaineköyhät massat kuluivatkin eniten. Lisäksi alhaisilla sideainepitoisuuksilla saman tyhjätilan saavuttaminen merkitsi huomattavaa tiivistystyön lisäystä.

Lisäaineiden vaikutus kulumiseen /32/

Polymeeribitumin (kumibitumi) todettiin vähentävän kulumista tavalliseen bitumiin verrattuna kaikissa tutkimuslaitteissa ja kaikissa olosuhteissa paitsi märkäajossa koe-radalla ABE-massalla. Tiellä kulumisen väheneminen oli noin 10%. Sideainetta jäykis-

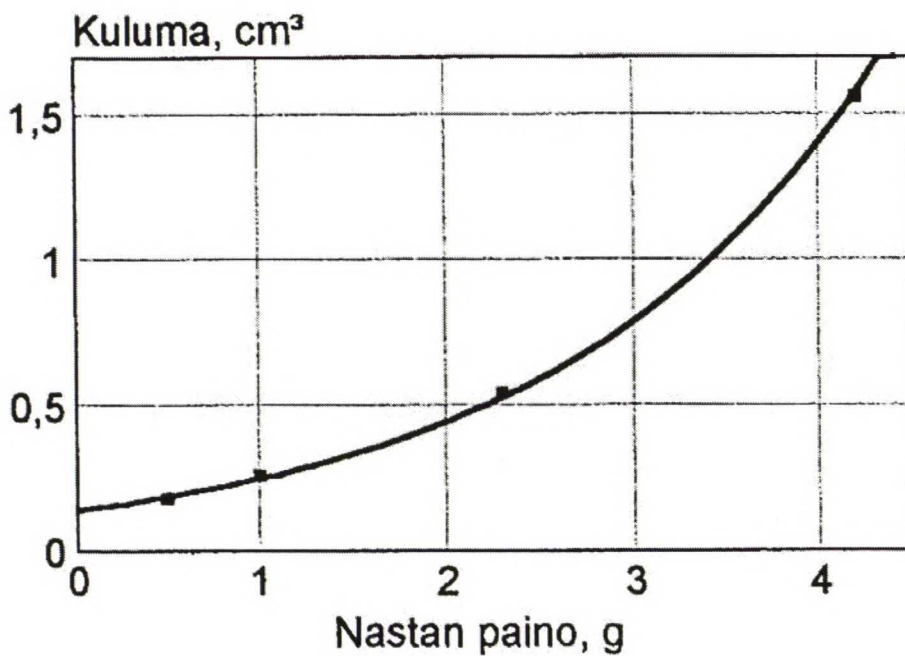
tävien lisäaineiden (gilsoniitti ja Trinidad epuré) todettiin niin ikään vähentävän kulumista. Kuitujen vaikutukseksi todettiin parempi pakkaskulumiskestävyys ja parempi työstettävyys. Täytejauheilla ei havaittu olevan vaikutusta kulumiseen, elleivät ne jäykistäneet massaa.

Massatyypin vaikutus kulumiseen /32/

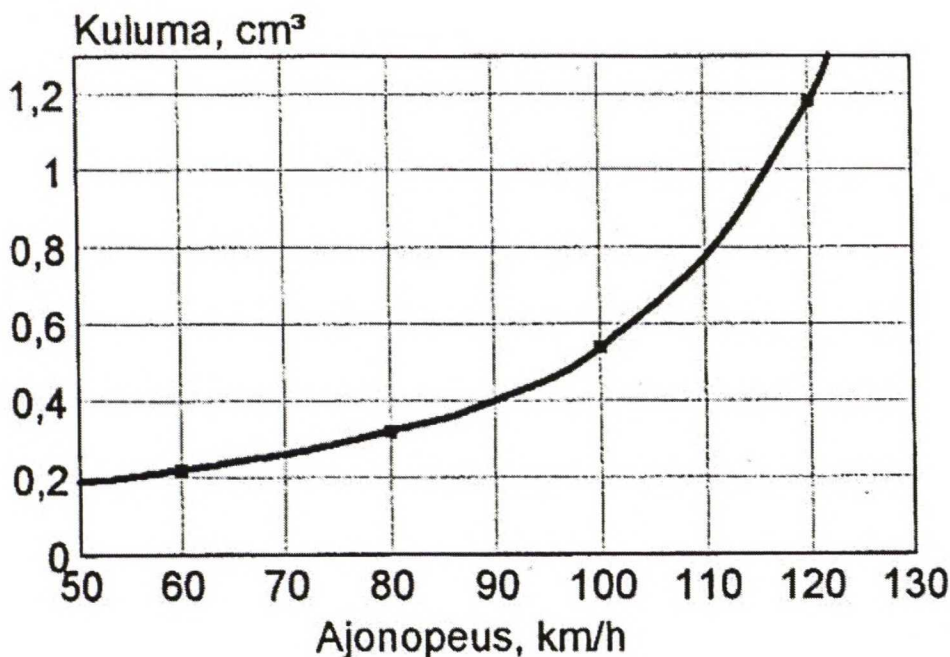
Tutkimuksen perusteella kulumisen suhteen paras massa oli ABE 20, jonka todettiin kuluvan hieman SMA 16:ta vähemmän. Yhteistä edellä mainituille massoille on suuri karkean kiviaineksen osuus. Vastaavasti eniten kuluivat jatkuvakäyräiset ja pienen maksimiraekoon omaavat massat.

Nastan painon ja ajonopeuden vaikutus kulumiseen /57/

Nastarenkaiden käytön yleisyyden takia päällysteiden nastarengaskuluminen on ollut tärkeä tutkimuskohde Suomessa jo 1970-luvun alusta lähtien. VTT tutki 1980-luvulla nastan painon ja ajonopeuden vaikutusta kulumiseen. Tutkimuksessa ajettiin tien pintaan kiinnitettyjen Kurun graniitista tehtyjen kivilukuluskappaleiden yli 200 kertaa. Tutkimuksen tulokset osoittavat selvästi nastan painon (kuva 23) ja ajonopeuden (kuva 24) vaikutuksen kiviaineksen kulumiseen:



Kuva 23. Nastan painon vaikutus kiviaineksen kulumiseen (Kurun graniitti, 100 km/h) /57/



Kuva 24. Ajonopeuden vaikutus kiviaineksen kulumiseen (Kurun graniitti, nastan paino 2,3 g) /57/

Myöhemmissä tutkimuksissa edellä esitetyt tulokset ovat varmistuneet. Suomen nykyiset nastarengasmääräykset ovat pitkälti näihin tutkimuksiin perustuvia. /57/ Tutkimustulosten perusteella yksi nastapisto aiheuttaa noin 100 µg:n kulumisen ja kokonaisuutena yksi nastarenkain varustettu ajoneuvo kuluttaa tietä noin 24 grammaa kilometrillä (tulos vuodelta 1993). /26/

Nastarenkaiden aiheuttamaan kulumiseen voidaan vaikuttaa nastan ominaisuuksia muuttamalla. Kulumisen kannalta olennaisimpia ovat nastan massan lisäksi myös nastan ulkonema, pistovoima ja nastapiikin pinta-ala. /26/

Erityisesti nastojen paino on viime vuosina selvästi pienentynyt ja näin myös nastarenkaiden aiheuttama kuluminen on vähentynyt. Edellä esitetyissä 1980-luvun nastan painoa ja ajonopeutta käsittelevissä tutkimuksissa käytettiin ajalle tyypillistä 2,3 g painoista nastaa. Vuonna 1990 ryhdyttiin Suomessa rajoittamaan nastan painoa. Asteittain tiukentuen määräykset saavuttivat 1996 tämän hetkisen muotonsa. Asetuksessa ajoneuvojen rakenteesta ja varusteista 4.12.1992/1256, 38§ Nastojen hyväksyminen 26.4.1996/304, määritetään henkilöauton nastan maksimimassaksi 1,1g. Nastan painon rajoittaminen on yleistänsy voimakkaasti ns. kevytnastojen käyttöä. Kuitenkin talvella 2000/2001 tehdyn tutkimuksen mukaan henkilöautojen nastoista oli noin 20 % edelleen teräsnastoja. /27/

5.3 PÄÄLLYSTEEN KULUMISEN VAIKUTUKSET

Tiellä liikkujan kannalta urautuminen vaikuttaa liikenneturvallisuuteen ja ajomukavuuteen. Uriin kertyvä vesi lisää vesiliirtovaaraa, urat pyrkivät ohjaamaan ajoneuvoa ja vaikeuttavat ohitustilanteita aiheuttamalla äkillisiä sivukiihtyvyyden muutoksia. Urat vaikuttavat myös yleisesti ajomukavuuteen. Lisäksi nastarengaskulumisen aiheuttama tien pinnan karkeuden kasvu kuluttaa renkaita. Toisaalta tien pinnan karkeuden kasvu on kuitenkin myös positiivinen ilmiö renkaan ja tien pinnan välisen kitkan kasvun takia. /26/

Tienpitäjän kannalta kulumisurautuminen alentaa päällysteiden ja päällysrakenteiden kestävyyttä kulumisen, märkänä lisääntyvän rapautumisen ja rakenteiden rasisitusten lisääntymisen vuoksi. Edellä mainitut johtavat päällysteen ja päällysrakenteen ennenaikaiseen vaurioitumiseen ja lisäävät näin kunnossapitotoimenpiteiden määrää. ASTO – työryhmän loppuraportin mukaan (1993) erilaisin laskelmin oli osoitettu nastarengaskulumisen maksavan vuosittain noin 300 miljoonaa markkaa. /26,32/

Kuten jo aiemmin hiljaisten päällysteiden havaittuja etuja ja ongelmia käsittelevässä kappaleessa on todettu, päällysteen kulumisen lisää ilman hiukkaspitoisuutta. Asfaltti-päällysteestä nastarengaskulutuksen vaikutuksesta peräisin olevat hiukkaset kulkeutuvat lähengitysteiden limakalvoille aiheuttaen terveydelle haitallisia vaikutuksia. /17/

Tutkimustulosten valossa (luku 7) kulumisella on myös erittäin haitallinen vaikutus päällysteen meluominaisuuksiin.

6 KULUMISOMINAISUUKSIEN MITTAUSMENETELMÄT

6.1 YLEISTÄ

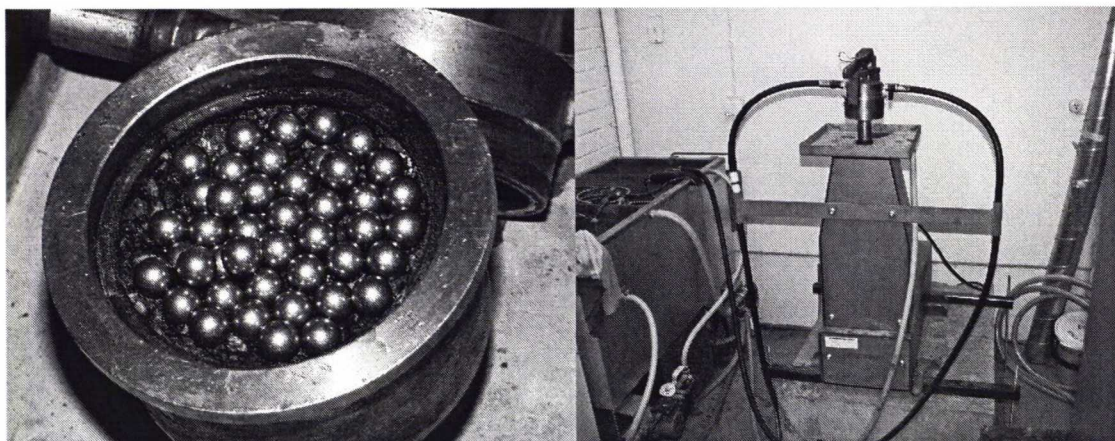
Päällysteiden kulumisominaisuuksien mittausmenetelmistä käsitellään tässä yhteydessä laboratoriolaitteista päällysteen nastarengaskulumista mittaavia laitteita. Päällysteen materiaalien ominaisuuksia (sideaine, kiviaines, lisäaineet) mittaavat laitteet on jätetty tarkastelun ulkopuolelle. Kenttämittausmenetelmistä tarkastellaan staattisia uramittaussuunnitelmia. Dynaamisia, lähinnä tieverkon kuntoa ja päällystystyön laatua mittaavia laitteita esimerkiksi palvelutason mittaussuunnitelmia ei tässä yhteydessä käsitellä.

6.2 LABORATORIOLAITTEET

Kuten edellä on todettu tässä yhteydessä käsitellään ainoastaan päällysteen nastarengaskestävyyttä määrittäviä laitteita. Näin tulevat kyseeseen Sivurullakulutuslaite (SRK), Prall-laite, Tröger-kulutuslaite sekä kulutusradat. Menetelmistä EN-standardeissa (prEN 12697-16) mainitaan Prall-menetelmä (standardimenetelmä A) ja SRK-menetelmä (standardimenetelmä B). /2/

Prall-menetelmä

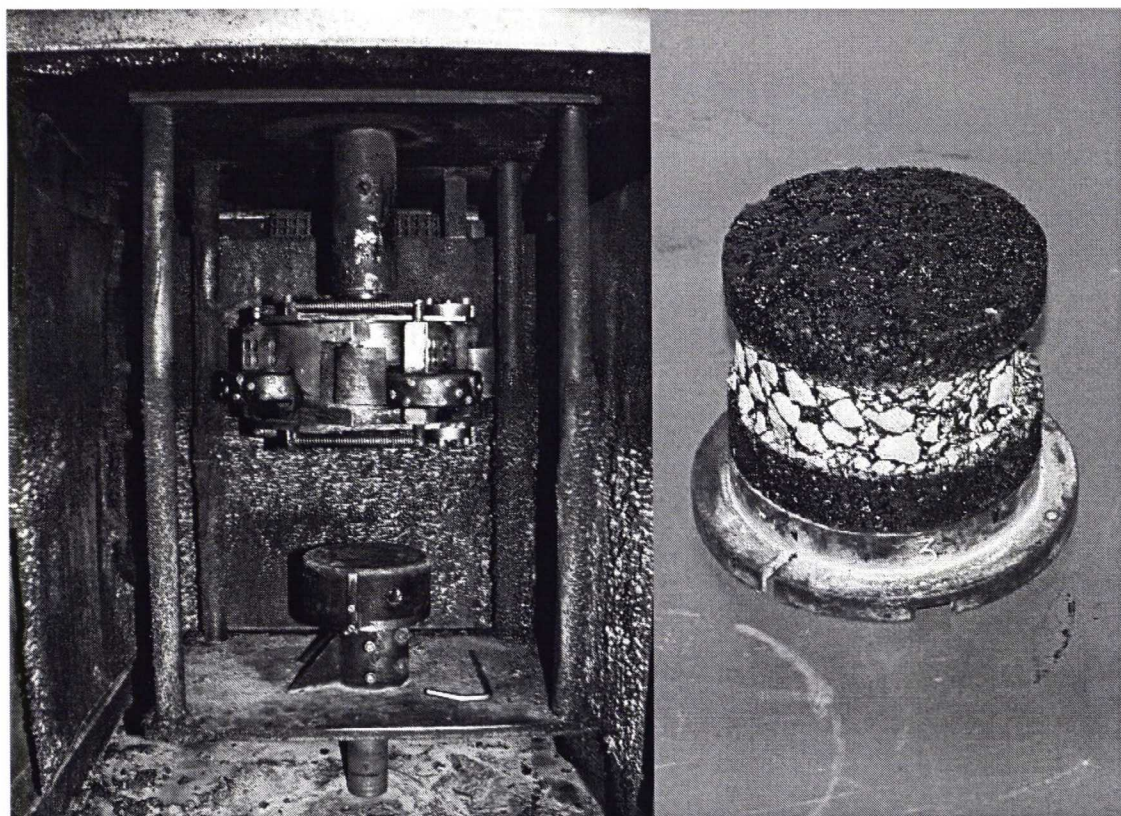
Ruotsalaisella Prall-laitteella (kuva 25) porakappaleita koetetaan 15 minuutin ajan. Tuloksena ilmoitetaan Ø11,5 millimetrin teräskuulien (40 kpl) aikaansaama tilavuushäviö kuutiosenttimetreinä. Kulutettavan koekappaleen mitat ovat Ø100 mm, korkeus 30 mm (sahattu pinta), ja sen lämpötila on +5°C. Teräskuulien liikkeen saa aikaan mäntä, jonka iskunpituus on 43 mm, kiertokangen pituus 200 mm ja kierrosnopeus 950 kierrosta minuutissa. Kokeen aikana näytettä huuhdellaan +5°C vedellä, jonka virtausnopeus on 2 litraa minuutissa. /2/



Kuva 25. Prall-laite

SRK-menetelmä

Suomalaiskehitteisessä SRK-menetelmässä (PANK-4209) koekappaleen sivupintaa kulutetaan kolmella nastoitetulla kumipyörällä. Kumipyörien pyörimisnopeus on pyöri-
jäyksikköön kiinnitettynä 520 kierrosta minuutissa. Koekappaletta kulutetaan vedellä
kastellen 2 tunnin ajan +5°C lämpötilassa. Kappaleen kuluminen lasketaan punni-
tuserosta laskettuna tilavuushäviönä (kuva 26). /2,36/



Kuva 26. SRK-laite ja kuva laitteella ajetusta porakappaleesta

Prall- ja SRK-menetelmien keskinäistä vertailtavuutta sekä niiden vertailtavuutta mi-
nikoetiekulumiin on selvitetty Suomessa VTT:n toimesta. Koko tutkimusaineistolla
menetelmien välinen lineaarinen korrelaatio oli 0,76. Menetelmien väliseksi yhteydeksi
saatiin (kaava 7): /2/

$$\text{PRALL-arvo} = 0,78 * \text{SRK-arvo} + 1,14$$

(7)

Parhaimman korrelaation Prall- ja SRK-menetelmien välille kivilajeista antoivat vulkaniitti ($r = 0,99$) ja graniitti ($r = 0,98$). Heikoimman korrelaation antoi granodioriitti ($r = 0,33$). Kivirakeiden muoto vaikutti myös voimakkaasti korrelaatioihin. Normaali-muotoisella kiviaineksella korrelaatioksi saatiin 0,97 kun taas erityisen hyvä- tai huonomuotoisilla kiviaineksilla korrelaatiot olivat selvästi heikompia 0,75 ja 0,77. /2/

Tutkimuksissa Prall-kokeen ja tiekuluman välinen yhteys oli lineaarinen ja muotoa (kaava 8): /2/

$$\text{Tiekuluma} = 0,71 * \text{Prall-arvo} - 5,06, \text{ (r = 0,93)}$$

(8)

SRK-kokeen ja tiekuluman väliseksi lineaariseksi riippuvuudeksi saatiin (kaava 9): /2/

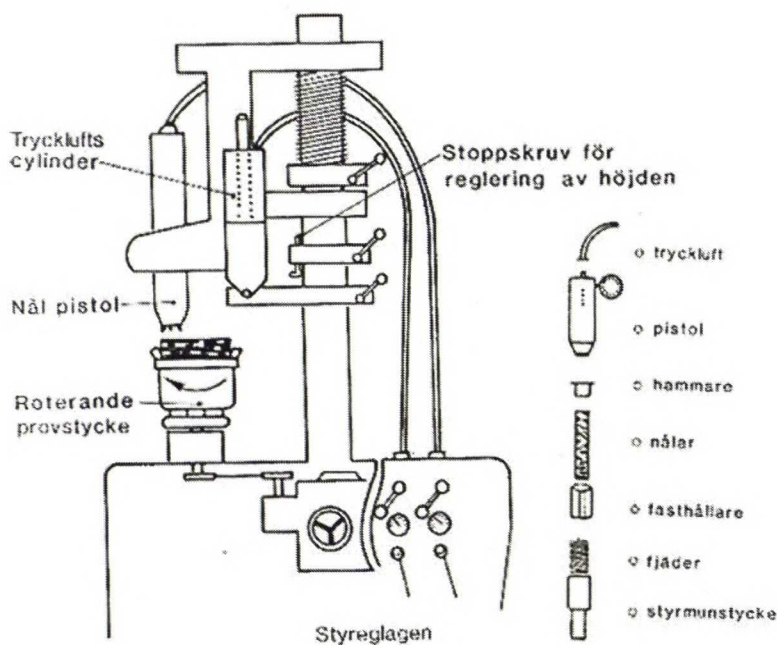
$$\text{Tiekuluma} = 0,70 * \text{SRK-arvo} - 8,74, \text{ (r = 0,85)}$$

(9)

Tutkimuksessa Prall-menetelmän eduksi todettiin se, että siinä kiviaineksen raemuodon vaikutus tulee selvemmin esiin. Lisäksi Prall-menetelmällä voidaan koestaa myös ohuita päällysteitä (vrt. hiljaiset päällysteet) sekä sahattuja että myös kulutettuja ja kuluttamattomia pintoja. SRK-menetelmän heikkous on lisäksi se, että koekappaletta kulutetaan todellisuudesta poiketen sivusuunnasta. /2/

Tröger-laite

Saksalaisella Tröger-kulutuslaitteella (kuva 27) kulutetaan painekäyttöisellä neulapis-toolilla päällystenäytteen pintaa 15 minuutin ajan. Materiaalihävikki määritetään ennen-jälkeen -punnituksin. Tröger-arvo ilmoitetaan irronneen materiaalin massana [g] tai tilavuutena [cm³]. /36/



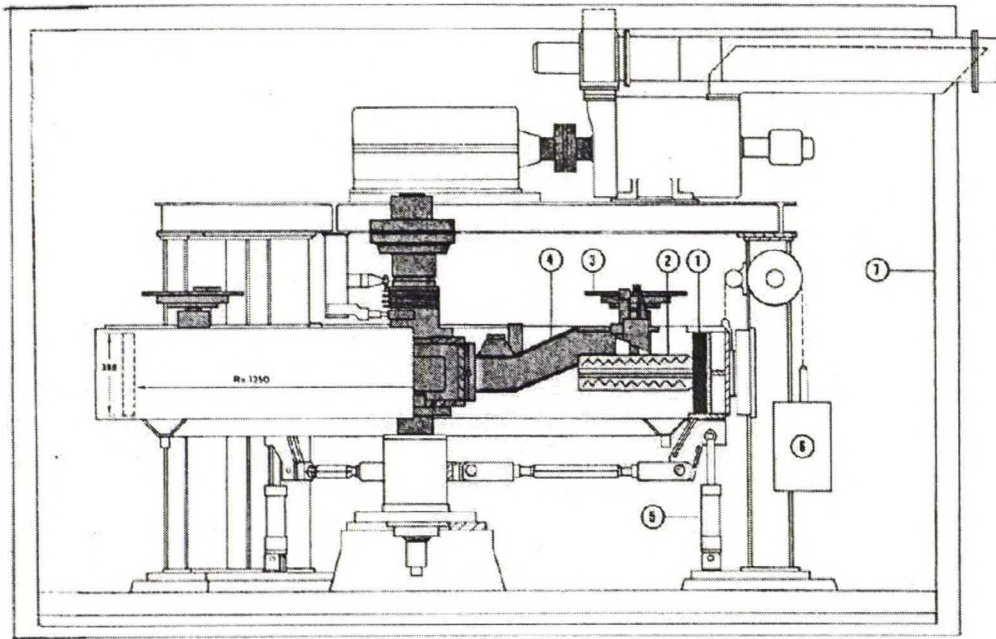
Kuva 27. Tröger-laitte /18/

Kulutusradat

Maailmalla on useita kulutusradoiksi katsottavia laitteita. Tässä yhteydessä käsitellään Fortum Oyj:n laitetta (kuva 28), joka toisin kuin muut laitteet, on kehitetty nimenomaan nastarengaskulumisen tutkimiseen. Laitteen tekniset ominaisuudet ovat seuraavat: /24/

- nopeus 5...65 km/h
- pyörä 2 kpl, kummallakin oma varsi
- pyöräkuormitus 0...500 kp/rengas
- koelämpötila -30...+45 °C
- mahdollisuus sekä kuiva- että märkäajoihin

Normaali pyöräkuorma on 300 kp (~300 kg, normaali henkilöauton paino neljälle pyörälle ositettuna). Kuormitus säädetään yhdellä säätimellä, joten kummankin renkaan kuorma on sama. Kulutettavat asfalttilaatat (60 cm * 38 cm, 12 kpl) on valssijyrätty, taivuttu kehän muotoon ja kiinnitetty bitumilla. Kehä liikkuu kulutuksen aikana noin kahden renkaan leveyden verran. Näin kulutus kohdistuu renkaan leveyttä laajemmalle alueelle, kuten todellisuudessa tapahtuu. Ajettava kulutuskierrosmäärä määräytyy lämpötilan ja kulutuspinnan kosteuden perusteella. Lähtökohtana on saada asfalttinäyte kulumaan riittävästi, jotta profilometripohjaisille kulumismittauksille saadaan riittävä tarkkuus. /24/



Kuva 28. Fortum Oyj:n kulutusrata /24/

Kulutuslaitteiston osien numerointi kuvassa 28 on seuraava: /24/

1. asfalttinäyte (normaalisti 12 kpl, pituus 60 cm, leveys 38 cm)
2. nastarengas (2 kpl, 155R13)
3. paineilmasäätöinen jarru
4. pyörivä palkki
5. hydraulisylinteri kehän pystysuoraan liikuttamiseen
6. vastapaino
7. eristetty kulutusratahuone

6.3 MAASTOMITTAUKSET

Maastomittauksilla tarkoitetaan in situ -mittauksia, joissa mitataan olemassa olevan tierakenteen ominaisuuksia.

Oikolauta

Yksinkertaisin uramittari on oikolauta. Oikolaudalla tarkoitetaan suoraa taipumatonta palkkia, jonka pituus on nykyisten normien mukaan kolme metriä. Mitattaessa oikolautaa asetetaan kohtisuorasti kulkusuuntaan nähden. Urasyvyys mitataan pääsääntöisesti molemmista urista käyttäen apuna mittakiilaa tai mittaviivoitinta. Käytännössä oikolauta soveltuu lähinnä maksimiurasyvyyden mittaamiseen. Jatkuvan kaistaprofiilin tai

pinta-alamuutosten mittaamiseen se ei sovellu. Oikolautaa käytettäessä mittaus on melko hidasta ja sen kattavuus on huono. /26/

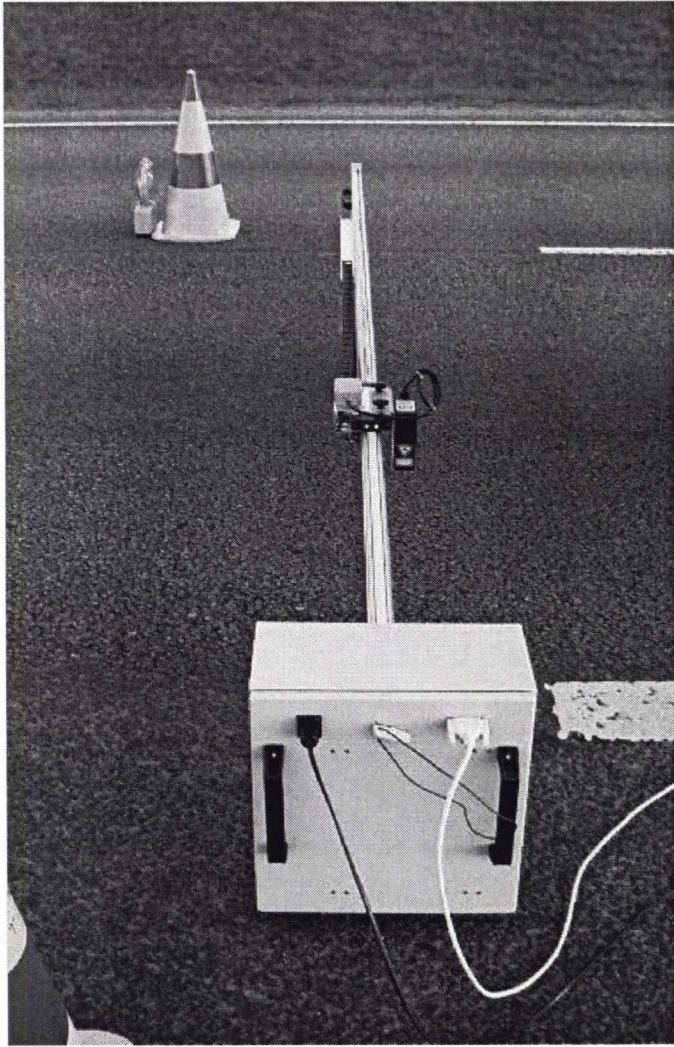
Profilometri

Profilometriksi kutsutaan laitetta, jolla poikkiprofiili mitataan jatkuvana profiilina. Käytännössä profiili ei ole kuitenkaan täysin jatkuva, vaan tulokset luetaan esimerkiksi 2 mm välein. Mittausperiaate on sama kuin oikolaudalla eli mittaus tapahtuu koh-tisuoraan profilometrin palkkiin nähden. Aikaisemmin profiilit mitattiin käyttämällä tien pintaa pitkin liikkuvaa mittapyörää. Mittapyörän käyttö heikentää mittaustark-kuutta, koska mittauspää ei ole herkkä päällysteen mikro- ja makrokarkeudesta aiheu-tuville pienehköille epätasaisuuksille. Mitattaessa päällysteen suurinta urasyvyyttä, an-taa mittapyörän käyttö päällysteen karkeuden mukaan hieman (0-2 mm) todellista pie-nemmän urasyvyyden. Toisaalta verrattaessa mitattua maksimaalista urasyvyyttä ajo-neuvon ”kokemaan” urasyvyyteen, saadaan sama tai hieman suurempi maksi-miurasyvyys ajoneuvon renkaan kosketuspinnan leveyden vuoksi. /26/

Nykyaikaisessa profilometrissä mittapyörä on korvattu laser-etäisyysmittarilla ja mit-taustarkkuus on periaatteessa sama kuin laserin mittaustarkkuus. Teknillisen korkea-koulun tielaboratorion profilometri (kuva 29) on edellä mainitun kaltainen AL-Engineering Oy:n valmistama laser-profilometri. Laitteen tekniset tiedot on lueteltu seuraavassa: /25/

Mittausalue:	<i>korkeus 200 +/- 100 mm</i> <i>pituus 100...4000 mm</i>
Laser:	<i>resoluutio 0,05 mm</i>
Nopeus:	<i>valittavissa, noin 1-8 m/min</i>
Pisteväli:	<i>valittavissa, 1 tai 2 mm</i>
Palkki:	<i>mittauspalkin laskennallinen maksimitaipuma palkin keskellä noin 0,6 mm</i>

Mittauspalkki koostuu laseranturista, siirtomoottorista, pulssianturista, etu- ja takara-jakatkaisimista, mittauksen aloituskatkaisimesta ja tukijaloista. Tiedonkeruuta varten laitteistossa on tiedonkeruukortti 12/24 V:n invertteri laseria varten sekä muuta tar-vittavaa elektroniikkaa. Lisälaitteena on kannettava PC, jonka vaatimukset ovat 486-suoritin ja värigrafiikka VGA.



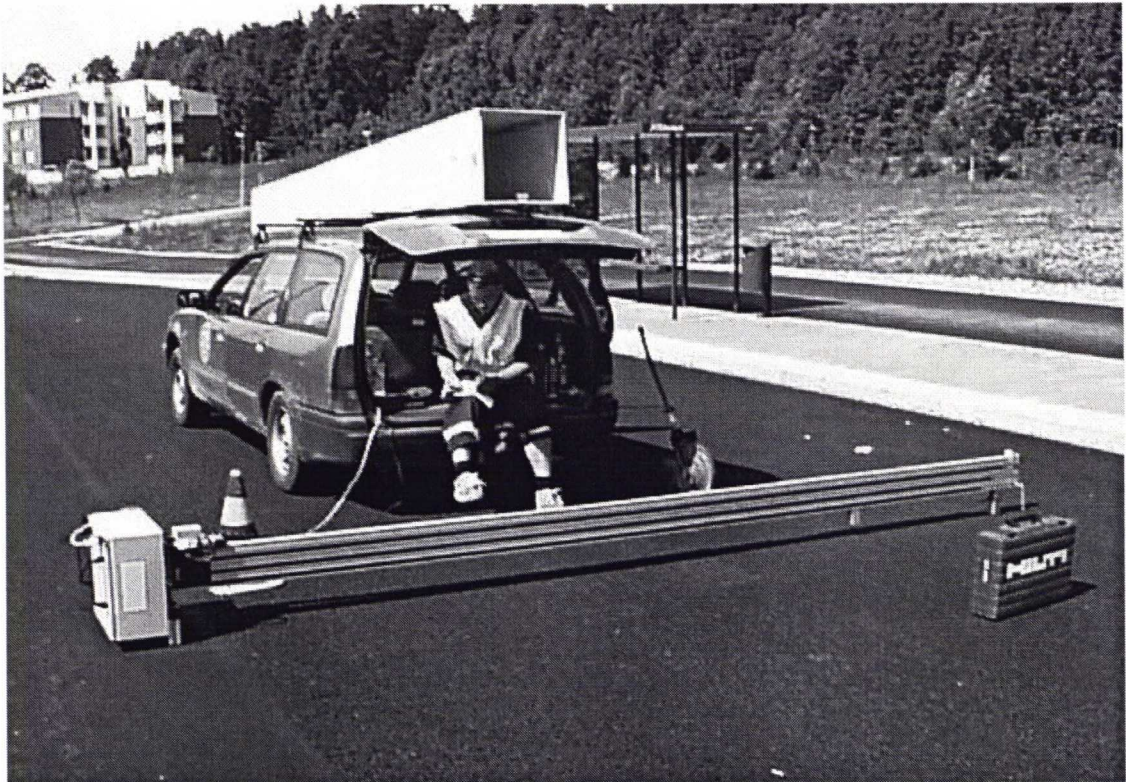
Kuva 29. Teknillisen korkeakoulun laserprofilometri

Nastarengaskulumisen (kokonaisurautumisen, deformaation) tutkiminen on laserprofilometriä käytettäessä yksinkertaista. Mittausten ajankohdat määrittävät saatavat tulokset:

mittaus syksyllä ennen nastarenkaiden käyttöönottoa
 - mittaus keväällä nastarengaskauden jälkeen
tuloksena saadaan nastarengaskuluminen

mittaus keväällä nastarengaskauden jälkeen
 - mittaus syksyllä ennen nastarenkaiden käyttöönottoa
tuloksena saadaan deformaatio

Nastarengaskuluminen ja deformaatio yhteen laskien saadaan **kokonaisurautuminen**.



Kuva 30. Profiilimittaukset käytännössä

Seuraavassa selvitetään yksinkertaistetusti mittausten kulkua ja mittaustiedon käsittelyä.

Tutkittavassa kohteessa

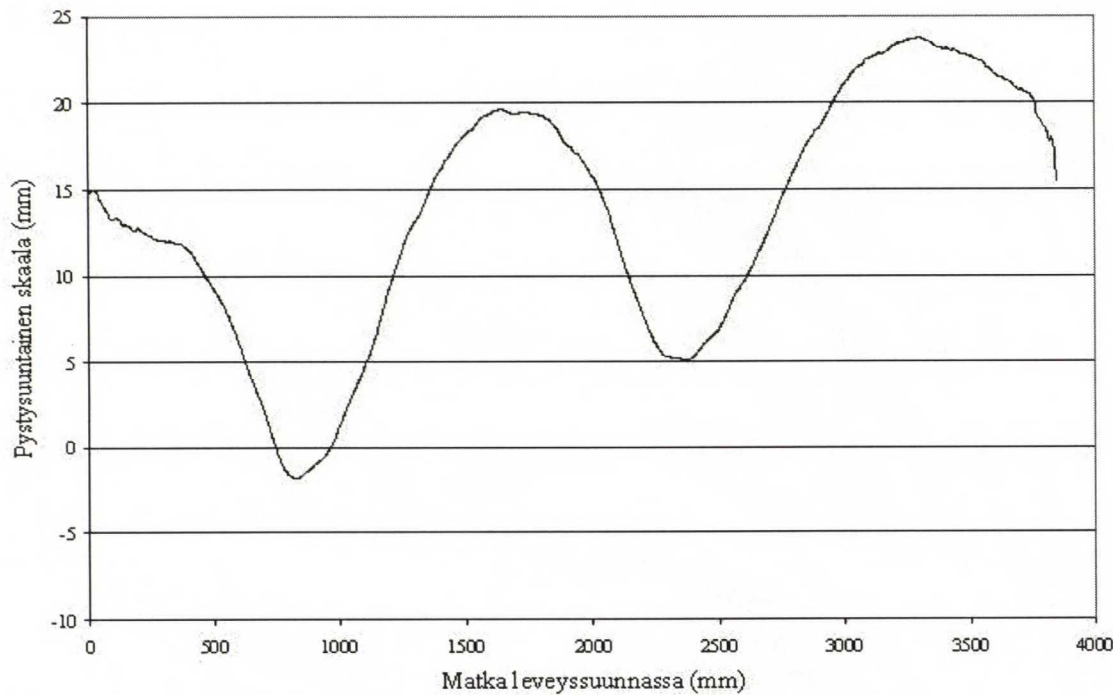
- valitaan riittävä määrä (>5 kpl) soveltuvia mittauskohтия
- tehdään valmistelut profilometrin saattamiseksi mittauskuntoon
- sidotaan profilometrin sijainti mittauskohtaan tiehen lyötävin nauloin, pultein tai vastaavin (tämä kohta ei koske toistomittauksia)
- suoritetaan mittaus ja tarkistetaan tulos silmämääräisesti näytöltä
- siirrytään seuraavaan mittauskohtaan

Lisäksi tulee tapauskohtaisesti ottaa huomioon työkohteen vaatimat liikennejärjestelyt ja muut työturvallisuuteen liittyvät seikat.

Mittausten jälkeen

- puretaan mittausdata
- käsitellään data taulukkolaskentaohjelmalla
- mitataan tulokset käyttäen "graafista oikolautaa"
- tehdään tarvittavat päätelmät

Taulukkolaskentaohjelmalla käsiteltynä mittausdata voi olla esimerkiksi kuvan 31 mukainen:



Kuva 31. Taulukkolaskentaohjelmalla käsitelty mittausdata /15/

7 MELU- JA KULUMISOMINAISUUKSIEN TUTKIMUKSET

7.1 YLEISTÄ

Tässä luvussa esitetään tulokset kaikista Teknillisen korkeakoulun tielaboratorion tekemistä hiljaisten päällysteiden kokeista. Kuten jo edellä on todettu, on tielaboratorio yhdessä Teknillisen korkeakoulun autotekniikan laboratorion kanssa vastannut muutamia yksittäisiä koekohteita lukuun ottamatta kaikista maassamme tehdyistä hiljaisiin päällysteisiin liittyneistä tutkimuksista. Näiden yksittäisten, lähinnä VTT:n tekemien, tutkimusten lisäksi tarkastelun ulkopuolelle jäävät luonnollisesti urakoitsijoiden omat tuotekehitykseen liittyvät tutkimukset.

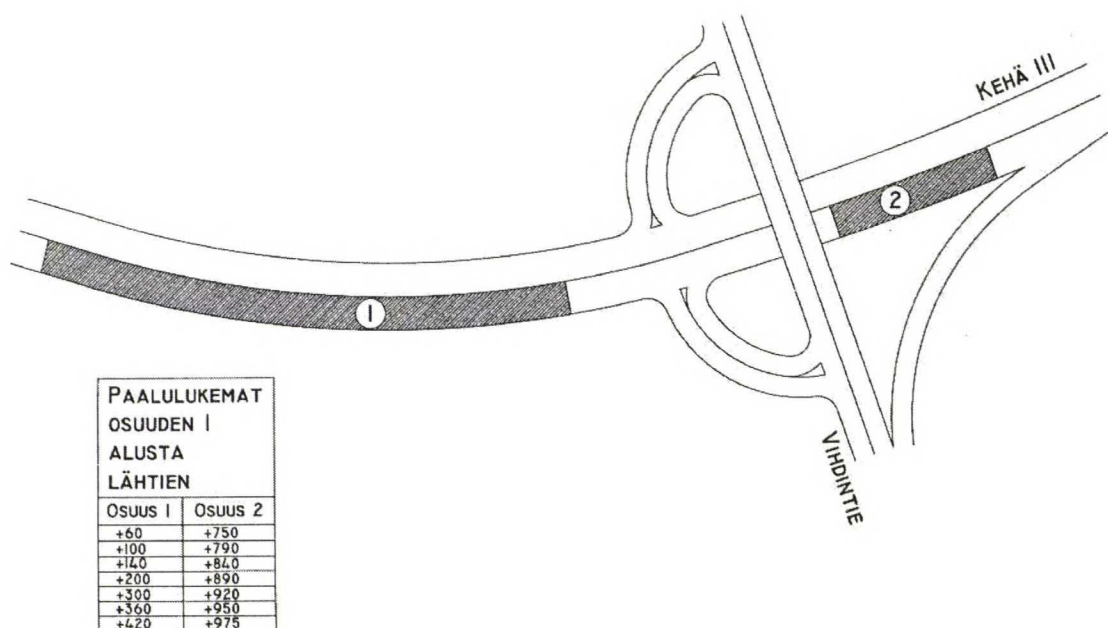
Tutkimukset ja niiden tulokset esitetään tässä luvussa toteutusjärjestyksessä erottelematta esimerkiksi melu- ja kulumistutkimuksia omiksi luvuikseen. Kokonaisuutena tämän luvun tulisi antaa varsin kattava käsitys hiljaisten päällysteiden kehityksestä ja niiden tutkimuksesta Suomessa.

7.2 KEHÄ III:N MELUKOETIE

Espoon Pitkäjärvelle 1996 tehdyn koetien jälkeen hiljaisten päällysteiden tutkimus käytännöllisesti katsoen loppui muutamaksi vuodeksi, kunnes vuonna 1999 kiinnostus virisi uudelleen TINO-projektin myötä. Aika oli otollinen hiljaisille päällysteille meluvastaisten asenteiden voimakkaasti lisääntyessä. Alkoi hiljaisten päällysteiden voimakkaan kehityksen aikakausi.

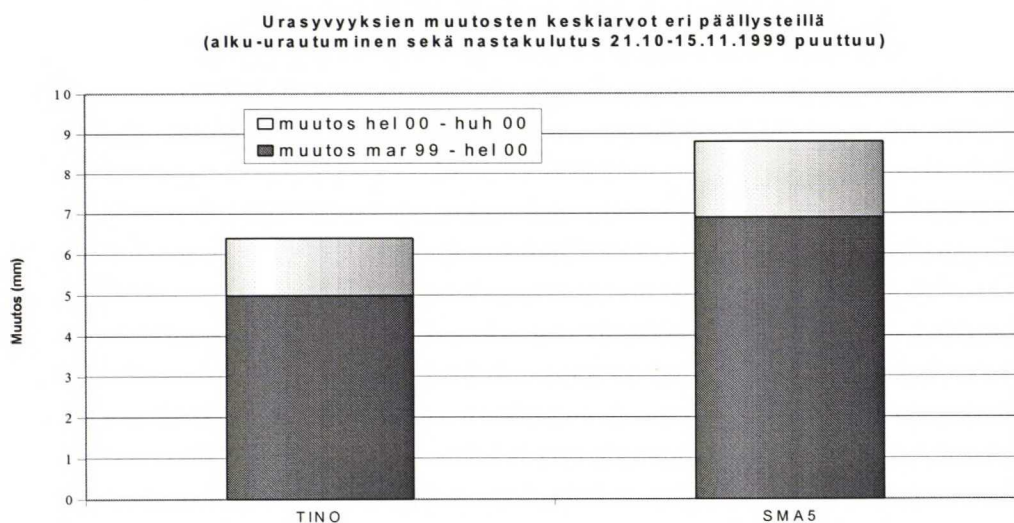
Ensimmäinen uuden ajan hiljaisten päällysteiden koekohde tehtiin Kehä III:lle lokakuussa 1999. Tielaitoksen hallinnon tie- ja liikennetekniikan tilaaman tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää melua vähentävien päällysteiden kulumiskestävyyttä. Koekohde koostui kahdesta meluominaisuuksiltaan hyväksi osoitetusta päällystetyypistä, TINO:sta ja SMA 5:stä. Koekohteen massoista SMA 5 on säilyttänyt asemansa aina tähän päivään asti eräänlaisena hiljaisten päällysteiden perustyyppinä. Sen sijaan TINO-projektissa luotua, kevytsoraa sisältävää TINO:a ei Kehä III:n jälkeen ole Suomessa käytetty tutkimuksessa ilmitulleen varsin huonon nastarengaskestävyyden vuoksi. /59/

Koepäällysteiden nastarengaskulumista seurattiin syksyn 1999 ja kevään 2000 aikana tehdyin laser-profilometrimittauksin. Ensimmäisen kerran profilit mitattiin 15.11.1999, jonka jälkeen mittaukset toistettiin 29.2.2000 ja 27.4.2000. Koeosuuksien profiilien mittauskohtien sijoittelussa pyrittiin eliminoimaan poikkeavan ajokäyttämisen vaikutus urautumiseen; niinpä mittauskohtia ei sijoitettu linja-autopysäkkien, siltojen, ramppien ja kaiteiden läheisyyteen. Lisäksi mittauskohdat sijoitettiin varmuuden vuoksi koeosuuksien loppupuolelle, jotta mitattava päällyste olisi mahdollisimman tasalaatuista. Kuvassa 32 on esitetty profiilien sijainti Kehä III:n melukoetiellä. /59/



Kuva 32. Profilien sijainti Kehä III:n melukoetiellä (KVL 40 000 ajon./vrk) /59/

Koeosuuksien urasyvyudet määritettiin graafisesti poikkiprofileista. Ongelmaksi muodostui koeosuuksilla vallitseva kaistan kourumainen muoto, minkä vuoksi urasyvyys määritettäessä käytettiin kahden metrin "graafista oikolautaa" normaalin kolmen metrin oikolaudan sijasta (Asfalttinormit 2000). Määritetyt urasyvyysien muutokset on esitetty kuvassa 33. /59/



Kuva 33. Urasyyvyysien muutos Kehä III:n melukoetiellä /59/

Tuloksia tarkasteltaessa on syytä huomata, ettei kyseessä ole koko talven nastarengaskulumisen siksi, että ensimmäiset mittaukset suoritettiin tien oltua noin kolme viikkoa liikenteellä. Tällöin alkupainumista/-urautumista oli ehtinyt tapahtua 2-3 mm. Lisäksi tulosten arviointia vaikeuttaa se, ettei koekohteeseen rakennettu lainkaan referenssiosuutta. Kulumisen voidaan kuitenkin todeta olleen varsin nopeaa verrattaessa tuloksia niin ikään Kehä III:lla olevaan päällysteen deformatumiskoetien nastarengaskulumiseen, joka SMA 18 -osuuksilla on ollut 1,5-2,0 mm talven 1998/1999 aikana. Jos liikennemäärät ovat vertailukelpoisia, TINO-massan kulumisen on siis ollut noin nelinkertaista ja SMA 5 -massan (kuva 34) noin viisinkertaista SMA 18 -päällysteeseen verrattuna. /20,59/ SMA 5 - ja TINO-päällysteiltä mitatut rengasmelut olivat uusina noin 8 dB(A) ja vielä vuoden ikäisenäkin 5 dB(A) tavanomaista massaa alhaisemmat. /23/



Kuva 34. Uria Kehä III:n SMA 5 -päällysteessä

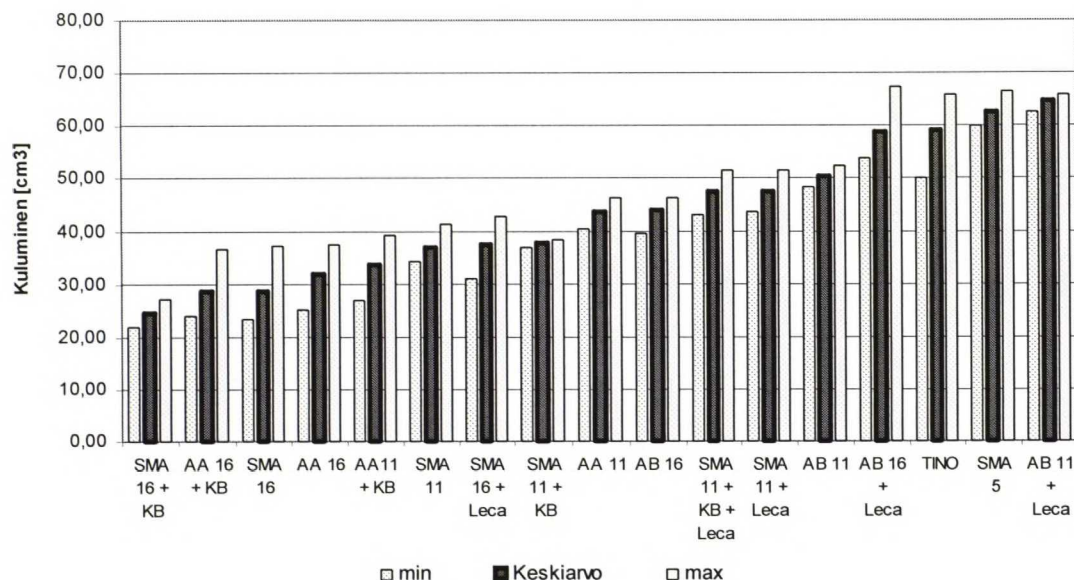
Samassa yhteydessä tehtiin myös varsin laaja SRK-kokeiden sarja. Alkuperäisen tutkimussuunnitelman mukaan erilaisia koemassoja oli 22, mukaan luettuna Kehä III:n SMA 5 ja TINO. Edellä mainittujen lisäksi valmistettiin laboratoriokoekappaleet myös seuraavista massatyypeistä: /59/

- AB 11 ja AB 16
- SMA 11 ja SMA 16
- AA 11 ja AA 16

Lisäksi edellä mainittuja kuutta massaa oli tarkoitus muuttaa normien mukaisista siten, että ne sisältäisivät kolme massaprosenttia kevytsoraa. Edelleen SMA- ja AA-massat oli tarkoitus valmistaa kumibitumista (Nelastic) sekä kevytsoralla että ilman sitä. Kun kokeiden myötä selvisi kumibitumin varsin pieni ja toisaalta kevytsoran varsin suuri vaikutus kulumiskestävyyteen SRK-kokeessa, päätettiin erilaisten massavariaatioiden lukumäärää pienentää. Lopulliseksi massojen lukumääräksi tuli 17, kun kumibitumin ja kevytsoran yhteisvaikutusta päätettiin selvittää vain SMA 11 -massan osalta. Massat sekoitettiin laboratoriosekoittimella ja niistä valmistettiin 150 mm koekappaleita kiertotiivistintä käyttäen. Porauksen ja sahauksen jälkeen kustakin massasta oli neljä SRK-kokeeseen sopivaa Ø100 mm koekappaletta. /59/

Onnistuneiden SRK-kokeiden tulokset on esitetty kuvassa 35. Tuloksista havaitaan maksimiraekoon suuri vaikutus massan kulumiskestävyyteen SRK-kokeessa. Sekä SMA- että AA-massoilla maksimiraekoon pienentäminen 16 millimetristä 11 millimetriin lisäsi kulumista noin 25 prosenttia. Tavanomaisella asfalttibetonilla muutos ei ole yhtä suuri. Verrattaessa Kehä III:n SMA 5 -massaa SMA 11 -massaan lisääntyi kulumisen noin 70 %. Kevytsora lisäsi kulumista tutkituilla SMA- ja AB-massoilla noin 30 prosenttia massatyypistä riippumatta. Vastaavasti sideaineen vaikutus SRK-koekulumiseen on selvästi vähäisempi. AA-massoilla kumibitumi vähensi kulumista 10-20 prosenttia. SMA-massojen osalta kumibitumin vaikutusta ei voitu osoittaa. /59/

SRK -tutkimus



Kuva 35. Massojen kuluminen SRK-kokeessa /59/

7.3 MELUMITTAUKSET; KORSO, KAIVOKSELA JA LEPPÄVAARA

Tämä tutkimus oli sarja ympäristömelumittauksia Kulomäentiellä Vantaan Korsossa, valtatie 3:lla Helsingin Kalanninpuistossa ja Kehä I:llä Espoon Leppävaarassa. Tutkimuksessa Teknillisen korkeakoulun tielaboratorion alihankkijana ja mittauksista vastaavana oli turkulainen Promethor Oy. Tutkimus muodosti rungon Tiehallinnon Tie- ja liikennetekniikan tilaamalle tutkimuskokonaisuudelle *Melua vähentävien päällysteiden vaikutus ympäristömeluun.* /35/

Mittauksia tehtiin seuraavasti:

- Kulomäentie: 5.6.2000, 14.8.2000, 11.4.2001 ja 28.5.2001
- Valtatie 3: 5.6.2000, 14.8.2000, 11.4.2001 ja 28.5.2001
- Kehä I: 5.6.2000 ja 14.8.2000

Kaikki mittaukset suoritettiin tienvarsimittauksina 10 ja 30 metrin etäisyydellä tien reunaviivasta mitattuna mittauskorkeuden vaihdella kohdekohtaisesti. Mittausjaksojen pituus oli Kulomäentiellä ja valtatie 3:lla 15 minuuttia ja Kehä I:llä 10 minuuttia. Mittauksissa noudatettiin Ympäristöministeriön ohjeen 1/1995 (Ympäristömelun mittaaminen) vaatimuksia. Taulukoissa 8-12 on esitetty koko mittausarjan tulokset. /35/

Taulukko 8. Korso, mittausetäisyys 10 m /35/

Korso, Kulomäentie, 50 km/h 10 m							
Mittauspäivämäärä	5.6.2000	14.8.2000		11.4.2001		28.5.2001	
Asfalttityyppi	AB/vanha	SMA 16	SMA 5	SMA 16	SMA 5	SMA-16	SMA 5
L_{Aeq} [dB]	69	68	65	71	69	70	67
L _{Amax} [dB]	84	86	86	95	82	83	84
L _{Amin} [dB]	56	44	58	53	54	54	51
Liikennemäärä: k/r	270/25	275/28		310/31		370/30	

Taulukko 9. Korso, mittausetäisyys 30 m /35/

Korso, Kulomäentie, 50 km/h 30 m							
Mittauspäivämäärä	5.6.2000	14.8.2000		11.4.2001		28.5.2001	
Asfalttityyppi	AB/vanha	SMA 16	SMA 5	SMA 16	SMA 5	SMA-16	SMA 5
L_{Aeq} [dB]	61	60	57	62	61	62	61
L _{Amax} [dB]	69	74	77	74	70	76	74
L _{Amin} [dB]	52	46	42	51	49	49	-
Liikennemäärä: k/r	270/25	275/28		310/31		370/30	

Taulukko 10. Kalanninpuisto, mittausetäisyys 10 m /35/

Kalanninpuisto, valtatie 3, 80 km/h 10 m				
Mittauspäivämäärä	5.6.2000	14.8.2000	11.4.2001	28.5.2001
Asfalttityyppi	SMA 18	SMA 5	SMA 5	SMA 5
L_{Aeq} [dB]	78	73	77	77
L _{Amax} [dB]	89	89	96	90
L _{Amin} [dB]	63	56	63	62
Liikennemäärä: k/r	430/60	530/70	830/100	655/120

Taulukko 11. Kalanninpuisto, mittau­setäisyy­ys 30 m /35/

Kalanninpuisto, valtatie 3, 80 km/h 30 m				
Mittauspäivämäärä	5.6.2000	14.8.2000	11.4.2001	28.5.2001
Asfalttityyppi	SMA 18	SMA 5	SMA 5	SMA 5
L _{Aeq} [dB]	71	65	67	67
L _{Amax} [dB]	-	-	76	77
L _{Amin} [dB]	-	-	56	58
Liikennemäärä: k/r	430/60	530/70	830/100	655/120

Taulukko 12. Leppävaara, mittau­setäisyy­det 10 ja 30 m /35/

Leppävaara, Kehä I, 70 km/h 10 ja 30 m				
Etäisyys	10 m		30 m	
Mittauspäivämäärä	5.6.2000	14.8.2000	5.6.2000	14.8.2000
Asfalttityyppi	SMA 18	SMA 8	SMA 18	SMA 8
L _{Aeq} [dB]	76	76	70	69
L _{Amax} [dB]	88	88	80	78
L _{Amin} [dB]	58	59	58	55
Liikennemäärä: k/r	440/70	450/65	440/70	450/65

Kahden ensimmäisen mittau­skerran (5.6.2000 ja 14.8.2000) perusteella voidaan todeta SMA 5 -pää­lysteen melutason olevan taajamanopeuksilla Korsossa noin 4 dB(A) alhaisempi verrattuna vanhaan asfalttibetoniin ja noin 3 dB(A) verrattuna SMA 16 -pää­lysteeseen. Vastaavasti melutaso maantienopeuksilla valtatiellä 3 on 5-6 dB(A) alhaisempi verrattuna SMA 18 -pää­lysteeseen. Tulosten arviointia vaikeuttaa se, että valtatiellä 3 vain toinen ajokaista pää­lystettiin SMA 5 -pää­lysteellä. Leppävaaran osalta tilanne on sama. Kohde oli mittau­sten aikana laajamittaisten rakennustöiden alalla, eivätkä tulokset siksi ole kovin vertailukelpoisia. /35/

Kolmas mittau­skerta (11.4.2001) pyrittiin sijoittamaan nastarengaskaudelle. Korsossa nastarenkain varustettujen autojen osuutta pyrittiin arvioimaan. Korvakuulolta tehdyn arvioinnin perusteella noin 2/3 -osaa autoista käytti nastarenkaita. Korson osalta mitatut tulokset osoittivat ekvivalenttimelutason nousevan pää­lysteen kulumisen ja nastarenkaiden käytön vuoksi noin 4 dB(A) verrattuna uuteen pää­lysteeseen ja kesärenkai­siin (mittaus 14.8.2000). Valtatiellä 3 ekvivalenttiäänitason mitattiin nousseen 10 metrin etäisyydellä 4 dB(A) ja 2 dB(A) 30 metrin etäisyydellä. Verrattuna 14.8.2000 teh­tyihin mittau­ksiin liikennetiheys kolmannella mittau­skerralla oli noin kaksinkertainen. Liikennemäärän kasvun voidaan arvioida vaikuttavan tuloksiin 2...3 dB(A). Valtatiellä

3 päällysteen kulumisen ja nastarenkaiden käytön vaikutus lisäisi siis ekvivalenttimelutasoa 1...2 dB(A) 10 metrin etäisyydellä, kun taas 30 metrin etäisyydellä sillä ei ollut vaikutusta. On kuitenkin syytä muistaa, että kyseessä on vain yhden yksittäisen koekohteen tulos, eikä se ole yleistettävissä. Lisäksi on huomioitava mittausten aikana vallinneet olot. Aikaisin keväällä tehtyjen mittausten aikana kasvillisuuden aiheuttama etäisyysvaimennus ei ole kesäolosuhteiden kaltainen. Toisaalta 10 metrin etäisyydellä tehtyjen mittausten tuloksiin ei etäisyysvaimennuksella voida katsoa olevan merkittävää vaikutusta. /35/

Neljännän mittauskerran (28.5.2001) tarkoituksena oli selvittää yhden talven nastarengaskulutuksen vaikutus ekvivalenttimelutasoon. Toisin kuin kolmannella mittauskerralla (11.4.2001) kaikilla autoilla oli käytössä kesärenkaat. Korsossa liikennetiheys oli hieman edellisiä mittauskertoja suurempi. Tulokset osoittivat ekvivalenttimelutasoon olevan 2 dB(A) alhaisempi kuin nastarenkaiden ollessa käytössä. Toisaalta verrattuna uudella SMA 5- päällysteellä tehtyihin mittauksiin (14.8.2000) melutaso oli 2 dB(A) korkeampi. Mittausetäisyyden ollessa 30 metriä olivat saadut tulokset yhtä suuria kuin nastarengaskaudella mitatut. Verrattaessa tuloksia uudella päällysteellä tehtyihin mittauksiin melutaso oli noussut 4 dB(A). Tosin liikennemääräkin oli jonkin verran suurempi. Valtatien 3 osalta 10 ja 30 metrin etäisyyksillä mitatut ekvivalenttimelutasot olivat yhtä suuria kuin nastarengaskaudella mitatut. Verratessa tuloksia uudelta SMA 5 -päällysteeltä mitattuihin voidaan todeta melutason nousseen 4 dB(A) etäisyydellä 10 metriä ja 2 dB(A) etäisyydellä 30 metriä. Toisaalta huomioimalla erot liikennemäärissä voidaan todeta melutason nousseen noin 2 dB(A) 10 metrin etäisyydellä ja pysyneen likimain samana 30 metrin etäisyydellä. /35/

Yhteenvetona tästä ympäristömelumittausten sarjasta voidaan todeta uuden hiljaisen päällysteen laskevan ekvivalenttimelutasoa merkittävästi vanhaan kuluneeseen päällysteeseen verrattuna. Korson kohdalla ero uuteen SMA 16 -päällysteeseen on niin ikään merkittävä. Nastarenkaiden (2/3 -osaa) käyttö ja yhden talven nastarengaskuluminen lisää melutasoa 0.4 dB(A) verrattuna uuteen SMA 5 -päällysteeseen. Tästä päällysteen nastarengaskulumisen vaikutuksen voidaan arvioida neljänsien mittausten perusteella olevan noin 2 dB(A) etäisyydellä 10 metriä ja olematon etäisyydellä 30 metriä. Täytyy kuitenkin edelleen muistaa tulosten olevan yksittäisistä mittauksista saatuja, eikä niitä voida laajasti yleistää. Lisäksi tämän kaltaisiin ulkona tehtäviin mittauksiin sisältyy aina useita epävarmuustekijöitä (taustamelu, kasvillisuus, sää, liikennemäärät, raskaiden ajoneuvojen osuus jne.), joiden täydellinen huomioiminen mittaus tuloksia arvioitaessa on mahdotonta.



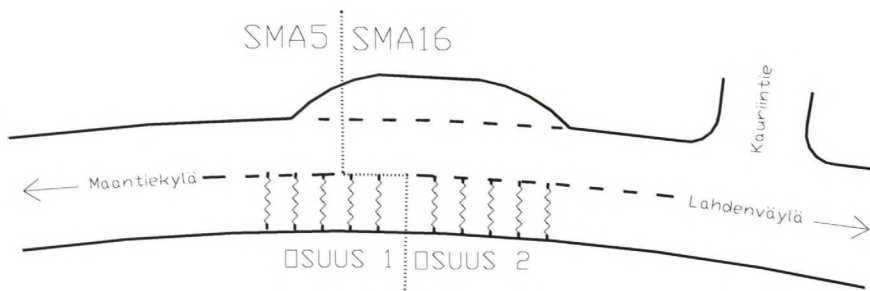
Kuva 36. Ympäristömelumittaukset Korsossa

7.4 KULUMISMITTAUKSET; KORSO JA VALLIKALLIO

Tämä tutkimus oli viimeinen osa Tiehallinnon Tie- ja liikennetekniikan tilaamaa *Melua vähentävien päällysteiden vaikutus ympäristömeluun* -tutkimuskokonaisuutta, jonka rungon muodosti edellä esitetty ympäristömelumittausten sarja. Päällysteiden kulumista seurattiin laser-profilometrimittauksin seuraavissa kohteissa: /15/

Kulomäentie, Korso (sama paikka kuin ympäristömelumittauksissa):

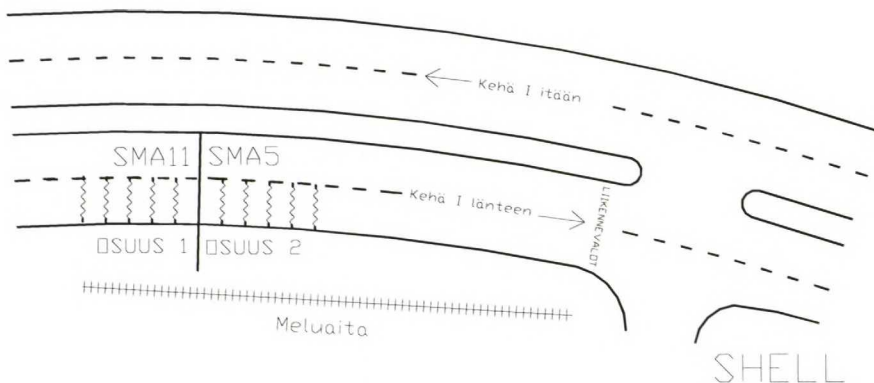
- SMA 16 / SMA 5
- KVL noin 12000 ajon./vrk [Vantaan kaupunki]
- 5 profiilia 3 metrin välein molemmilta päällysteiltä



Kuva 37. Korson kulumiskoe kohde /15/

Kehä I, Vallikallio:

- SMA 11 / SMA 5
- KVL (länteen) noin 32 500 ajon./vrk kahdella kaistalla [Espoon kaupunki]
- 5 profiilia 5 metrin välein molemmilta päällysteiltä



Kuva 38. Vallikallion kulumiskoe kohde /15/

Molemmissa koekohteissa profiilit sijoitettiin päällystetyyppien välisen sauman välittömään läheisyyteen. Mittauspaikat merkittiin Hilti-nauloilla ja maalilla, mikä mahdollisti toistomittausten suorittamisen samalta kohdalta. Profiilit mitattiin 12.9.2000 ja 16.5.2001. Mittausten jälkeen tulokset käsiteltiin ja urasyvyyydet määritettiin graafisesti oikolautaperiaatetta käyttäen. Yksi Vallikallion varsin voimakkaasti urautunut profiili on esitetty profilometriä käsittelevässä kappaleessa (kuva 31). /15/

Tuloksista käy varsin selvästi ilmi hiljaisten, pienen maksimiraekoon omaavien päällysteiden huono nastarengaskulutuskestävyys. Kiinnostus hiljaisten päällysteiden kulumisominaisuuksiin oli tutkimuksen julkaisuhetkellä varmasti suurempi kuin koskaan ennen Suomessa. Niinpä tulosten perusteella varsin nopeasti Tiehallinnon internet-sivuilla julkaistiin kirjoitus otsikolla: "Hiljainen päällyste kuluu liian nopeasti". Myös Helsingin sanomat julkaisi samansisältöisen kirjoituksen. Kirjoitukset olivat sinällään ihan oikeutettuja. Taulukoista 13 ja 14 havaitaan SMA 5 -päällysteen kulumisnopeuden olevan noin 10-kertainen SMA 16 -päällysteeseen verrattuna ja noin 6-kertainen SMA 11 -päällysteeseen verrattuna. Tulosten perusteella näyttääkin siltä, ettei SMA 5 -päällyste kestä Kehä I:n kaltaisilla erittäin vilkkaasti liikennöidyillä teillä kuin yhden talven ja Kulomäentien tyyppisilläkin teillä vain 2-3 talvea. /15/

Taulukko 13. Urasyvyyydet ja urasyvyysien muutokset Kulomäentiellä /15/

KULOMÄENTIE						
	s. 2000		k. 2001		Urasyvyyyden muutos	
SMA 5	vasen [mm]	oikea [mm]	vasen [mm]	oikea [mm]	vasen [mm]	oikea [mm]
Profiili 1	3,7	1,5	10,3	8,9	6,6	7,4
Profiili 2	3,7	1,7	9,9	8,7	6,2	7,0
Profiili 3	3,8	1,4	9,4	10,5	5,6	9,1
Profiili 4	3,6	1,4	9,9	10,9	6,3	9,5
Profiili 5	3,3	1,4	11,4	10,5	8,1	9,1
Keskiarvo	3,6	1,5	10,2	9,9	6,6	8,4

	s. 2000		k. 2001		Urasyvyyyden muutos	
SMA 16	vasen [mm]	oikea [mm]	vasen [mm]	oikea [mm]	vasen [mm]	oikea [mm]
Profiili 1	6,3	2,7	6,9	3,7	0,6	1,0
Profiili 2	3,3	4,7	4,6	6,0	1,3	1,3
Profiili 3	3,9	3,5	4,4	4,2	0,5	0,7
Profiili 4	2,4	2,4	3,3	2,7	0,9	0,3
Profiili 5	2,2	4,5	3,1	4,4	0,9	-0,1
Keskiarvo	3,6	3,6	4,5	4,2	0,8	0,6

Taulukko 14. Urasyydydet ja urasyydyksien muutokset Kehä I:llä /15/

KEHÄ I						
SMA 5	s. 2000		k. 2001		Urasyydyden muutos	
	vasen [mm]	oikea [mm]	vasen [mm]	oikea [mm]	vasen [mm]	oikea [mm]
Profiili 1	3,2	1,1	14,3	11,8	11,1	10,7
Profiili 2	3,1	2,6	14,4	21,6	11,3	19,0
Profiili 3	2,6	1,8	13,3	16,7	10,7	14,9
Profiili 4	2,3	1,7	16,2	17,9	13,9	16,2
Profiili 5	2,2	2,5	15,3	20,5	13,1	18,0
Keskiarvo	2,7	1,9	14,7	17,7	12,0	15,8

SMA 11	s. 2000		k. 2001		Urasyydyden muutos	
	vasen [mm]	oikea [mm]	vasen [mm]	oikea [mm]	vasen [mm]	oikea [mm]
Profiili 1	2,5	3,8	5,2	5,7	2,7	1,9
Profiili 2	2,8	3,2	4,8	5,0	2,0	1,8
Profiili 3	2,8	3,9	4,9	6,0	2,1	2,1
Profiili 4	2,1	2,8	4,2	4,7	2,1	1,9
Profiili 5	3,1	1,7	5,7	4,7	2,6	3,0
Keskiarvo	2,7	3,1	5,0	5,2	2,3	2,1

Täytyy kuitenkin muistaa kyseessä olleen edellä esitetyn Kehä III:n melukoetien jälkeen toinen uuden ajan hiljaisten päällysteiden tiekulumatutkimus ja kokeilu. Syksyllä 2000 hiljaisten päällysteiden tuotekehitys oli Suomessa vasta alkamassa. SMA 5 -tyyppisten massojen tuotannosta ja levitystyöstä oli rakennushetkellä vasta varsin vähän kokemusta. Tämä johti muun muassa Vallikallion kohteessa kuituongelmiin. Sittemmin useat asfalttialan urakoitsijat ovat ryhtyneet kehittämään omia hiljaisia päällysteitään ja tuoneet ulkomailla käytössä olleita hiljaisia päällysteitä Suomeen. Panostus on ollut varsin voimakasta kuten myöhemmin esiteltävä HILJA-projekti useine merkkituotteineen osoittaa. Viimeisten kulumismittausten valossa on nähtävissä myös hiljaisten päällysteiden nastarengaskulutuskestävyyden kasvu.

7.5 HILJA-PROJEKTI

7.5.1 YLEISTÄ

Hiljaiset päällysteet; tuotevaatimukset ja mittarit -tutkimusprojektin (HILJA-projekti) valmistelu alkoi vuonna 2000 osana Teknologian kehittämiskeskuksen (Tekes) INFRA-teknologiaohjelman osion *Infrarakentamisen hankintamenettelyjen kehittäminen – Case päällystystyöt* valmistelua. Tekesin lisäksi projektin rahoittajina toimivat Tiehallinto, Helsingin, Espoon ja Turun kaupungit sekä asfalttialan urakoitsijoista Lemminkäinen Oyj, Valtatie Oy, Interasfaltti Oy ja Tieliikelaitos. Tutkimuksen koordinoinnista ja toteutuksesta vastaa Teknillisen korkeakoulun tielaboratorio. Merkittävä tutkimuspanos on ollut Teknillisen korkeakoulun autotekniikan laboratoriollla. Lisäksi osia tutkimuksesta on teetetty alihankintana Suomen Akustiikkakeskuksella ja Valtion teknillisellä tutkimuskeskuksella. Projektin kesto aika on 2.1.2001-31.10.2003. /19/

Tutkimuksen ongelmanasettelu liittyy päällysteen meluominaisuuksien paikasta riippumattomaan mittaamiseen. Yksittäisissä kotimaisissa ja ulkomaisissa tutkimuksissa on esitetty käytetyn useita erilaisia mittausmenetelmiä. Osa menetelmistä on standardisoituja, osa standardiluonnosvaiheessa ja osalle ei ole esittää mitään standardinomaista menetelmäkuvausta. Menetelmien kirjavuuden takia tulosten keskinäinen vertailu on käytännössä mahdotonta. /19/

Toinen merkittävä ongelma on pohjoismainen tieliikennemelun laskentamalli. Meluaitojen ja vastaavien melutasoa laskeva vaikutus voidaan ottaa suunnitteluvaiheessa huomioon. Hiljaisille päällysteille vastaavaa työkalua ei ole ja näin hiljaisten päällysteiden käyttöä meluntorjuntaratkaisuna vaikeutetaan jo suunnitteluvaiheessa. /19/

Kolmas ongelma on hiljaisten päällysteiden tähän asti melko vähäiset käyttökokemukset Suomessa. Koeosuuksien rakentaminen vilkkaasti liikennöidyille tieosuuksille ei ole antanut kuvaa hiljaisten päällysteiden kulutuskestävyydestä erilaisissa oloissa. Myöskään siitä, miten paljon todellisuudessa hiljaisilla päällysteillä voidaan alentaa tieliikennemelua, ei ole saatu kattavaa käsitystä. /19/

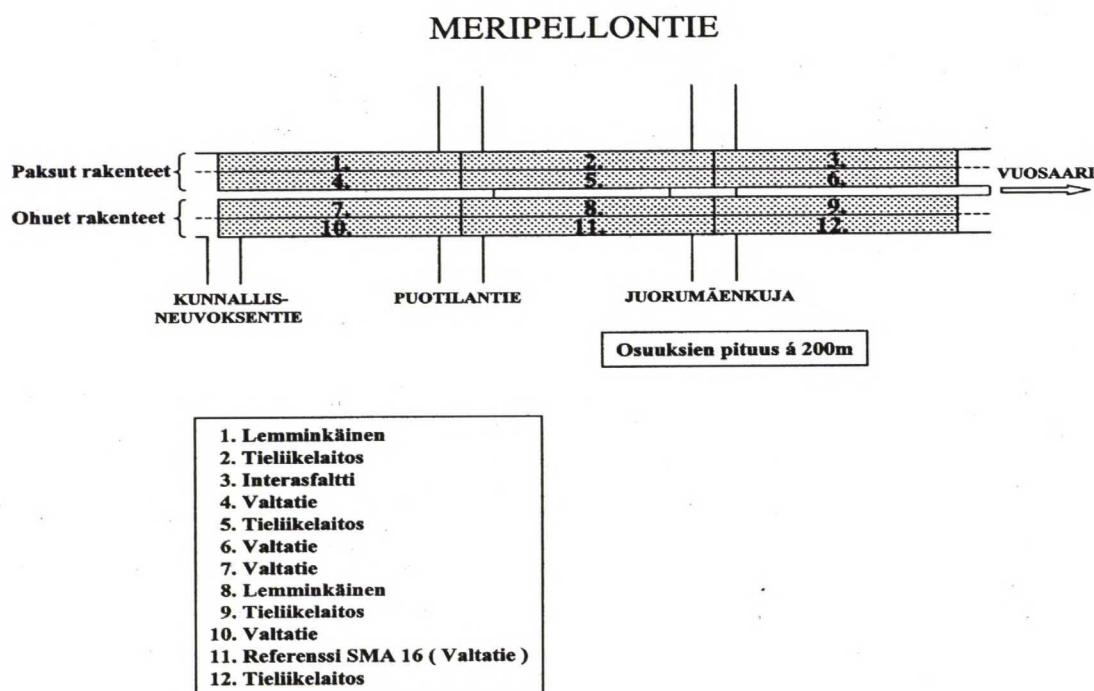
Projektin tavoitteena on kehittää hiljaisille päällysteille toiminnalliset laatuvaatimukset ja niiden mittausmenetelmät, joilla urakoitsijat voivat osoittaa tuotteidensa melu- ja kulumisominaisuudet ja rakennuttaja edellyttämänsä laatuvaatimukset. Edelleen tavoitteena on selvittää, miten paljon hiljaisempia hiljaiset päällysteet ovat tavanomaisiin päällysteisiin verrattuna ja se, miten saavutettu melun lähtötason lasku otetaan huomioon melunlaskentamalleissa. /19/

Tutkimuksen alkuvaiheessa tehtiin melko laaja kirjallisuuskatsaus, jolla pyrittiin kartoittamaan olemassa olevaa tietoutta rengasmelusta, sen mittaamisesta ja rengasme luun vaikuttavista päällysteen ominaisuuksista. Lisäksi haettiin tietoutta maailmanlaajuisesti kokeilluista ja käytössä olevista hiljaisista päällysteistä. /19,37/

Lähtökohtana asfalttipäällysteen ja renkaan välisessä vuorovaikutuksessa syntyvän melun mittaamiselle pidettiin ns. täysimittakaavalaboratoriokokeita (full-scale -tests). Tässä yhteydessä täysimittakaavalaboratoriokokeet tarkoittivat koekohteiden rakentamista normaaliin liikenneympäristöön. Meluominaisuuksien tutkimisen ohella täysimittaisten koekohteiden rakentamisella saavutetaan merkittävää etua myös muiden päällysteen ominaisuuksien, erityisesti kulumisominaisuuksien tutkimuksessa. Tässä työssä HILJA-projektin osalta käsitellään alkukesään 2002 mennessä saatuja tuloksia /19/

7.5.2 MERIPELLONTIE, HELSINKI

Meripellontielle Helsinkiin rakennettiin kesä-heinäkuussa 2001 koetie, joka käsittää 11 koeosuutta ja yhden referenssiosuuden. Meripellontie on Itäkeskuksesta Vuosaareen johtava kaksiajoratainen nelikaistainen tie. Nopeusrajoitus Helsingin keskustan suunnasta tultaessa on 50 km/h ja vaihtuu koetien puolella välissä 60 km/h:ksi. Koetien alueelle sijoittuu kaksi liittymää, jotka molemmat ovat valo-ohjattuja. Kuvissa 39 ja 40 on esitetty koeosuuksien sijainnit ja urakoitsijat sekä yleiskuva koekohteesta. /19/

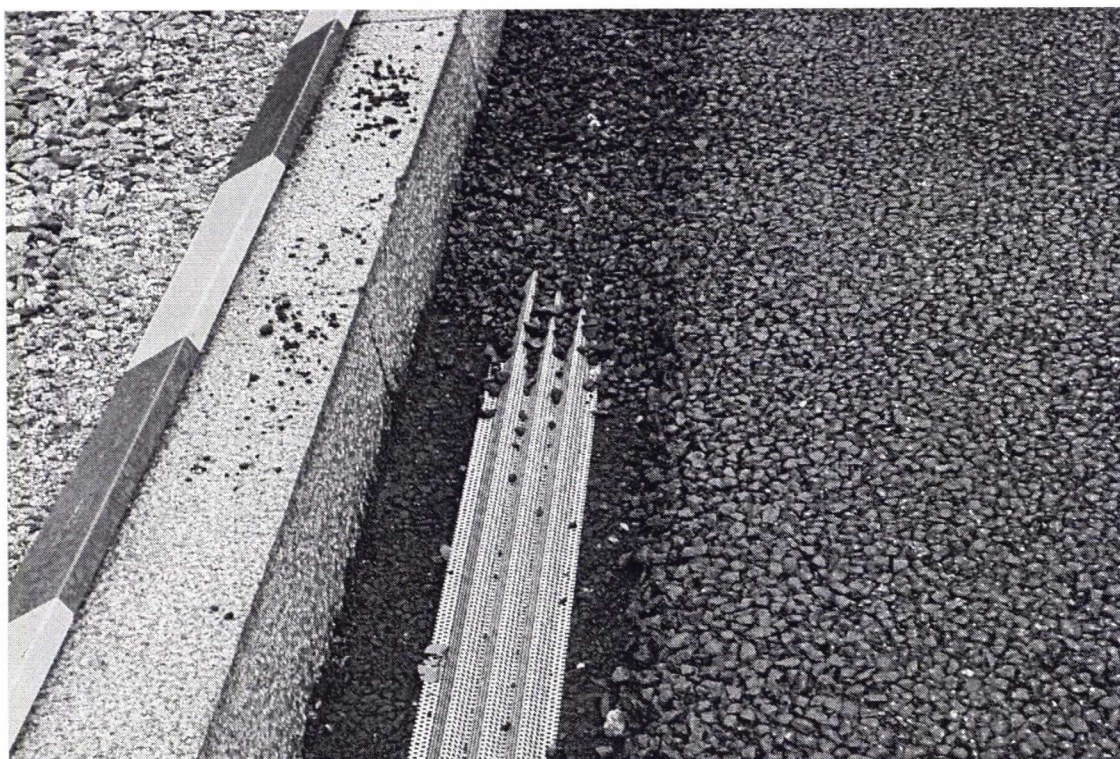


Kuva 39. Meripellontien koeosuudet /19/



Kuva 40. Kuva Meripellontieltä /19/

Kohteen erityispiirteen muodostavat osuuksille 1-6 rakennetut kaksikerrosrakenteet. Näiden paksujen, noin 60+30 mm, rakenteiden lisäksi ajoradat salaojitettiin Helsingin kaupungin toimesta, aikaisemmin lähinnä vain siltojen kansilla käytetyllä menetelmällä (kuva 41). Reunakiven ja noin 60 mm paksuisen avoimen pohjamassan väliin jätettiin aukko, johon salaojaprofiili sijoitettiin ja peitettiin bituminoidulla sepelillä. Varsinainen kulutuskerros rakennettiin täysleveänä reunakiveen asti. /19/



Kuva 41. Meripellontiellä osuuksilla 1-6 käytetyn salaojituksen periaate /19/

Meripellontien koetien pääasiallisena tavoitteena on vertailla erilaisia melunmittausmenetelmiä erilaisilla hiljaisilla päällysteillä sekä päällysteiden meluominaisuuksia. Ongelman asetteluun mukaisesti myös päällysteiden urautumista ja erityisesti nastarengaskulumista on tutkittu. Tämän lisäksi on tutkittu päällysteiden huokoisuutta ns. sand patch- menetelmällä. Myös päällysteiden kitkaa tullaan mittaamaan. /19/

Meripellontien päällystystyöt tehtiin 14.6-11.7 2001 välisenä aikana. Urakoitsijat levittivät omat päällysteensä eri päivinä. Referenssiosuus SMA 16 tehtiin kohteen urakoitsijan E.M. Pekkinen Oy:n aliurakoitsijan Valtatie Oy:n toimesta. Kuvassa 42 Tie-liikelaitos päällystää yhtä neljästä koeosuudestaan. /19/



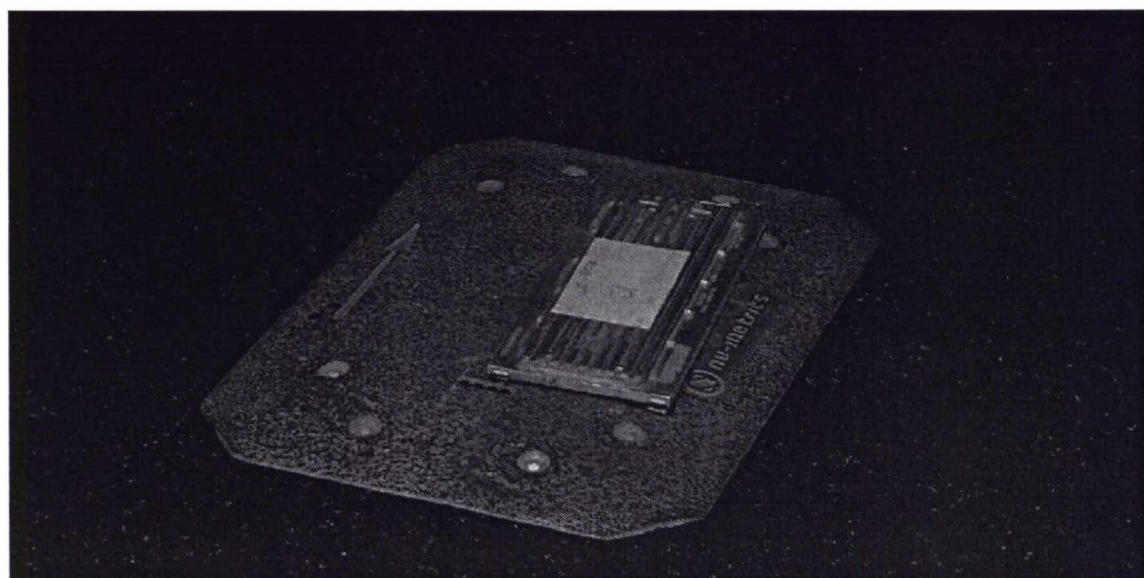
Kuva 42. Tie-liikelaitos päällystämässä osuutta 5

Taulukkoon 15 on koottu Meripellontien koepäällysteet:

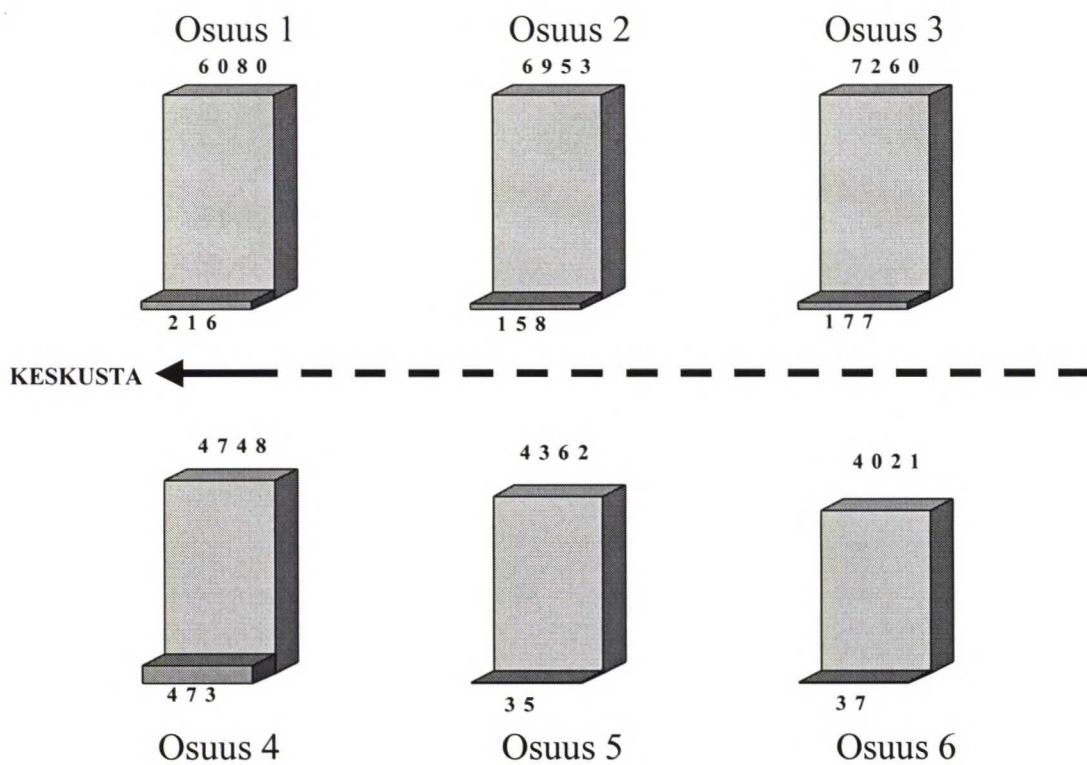
Taulukko 15. Meripellontien koepäällysteet /19/

Koeosuus nro	Päällyste	Urakoitsija
1	Whisperphalt T 3 cm + Whisperphalt B 150 kg/m ²	Lemminkäinen
2	Hiltti 3 75 kg/m ² + Hiltti 6 155 kg/m ²	Tieliikelaitos
3	Viacodrän 11A 80 kg/m ² + Viacobase 20B 130 kg/m ²	Interasfaltti
4	Hilja T 80 kg/m ² + Hilja A II 130 kg/m ²	Valtatie
5	Hiltti 3 75 kg/m ² + Hiltti 6 155 kg/m ²	Tieliikelaitos
6	Hilja K 85 kg/m ² + Hilja A 125 kg/m ²	Valtatie
7	Hilja OT 100 kg/m ²	Valtatie
8	Whisperphalt T 90 kg/m ²	Lemminkäinen
9	SMA 6 100 kg/m ²	Tieliikelaitos
10	Hilja OK 100 kg/m ²	Valtatie
11	SMA 16 100 kg/m ² (referenssi)	Valtatie
12	SMA 6 100 kg/m ²	Tieliikelaitos

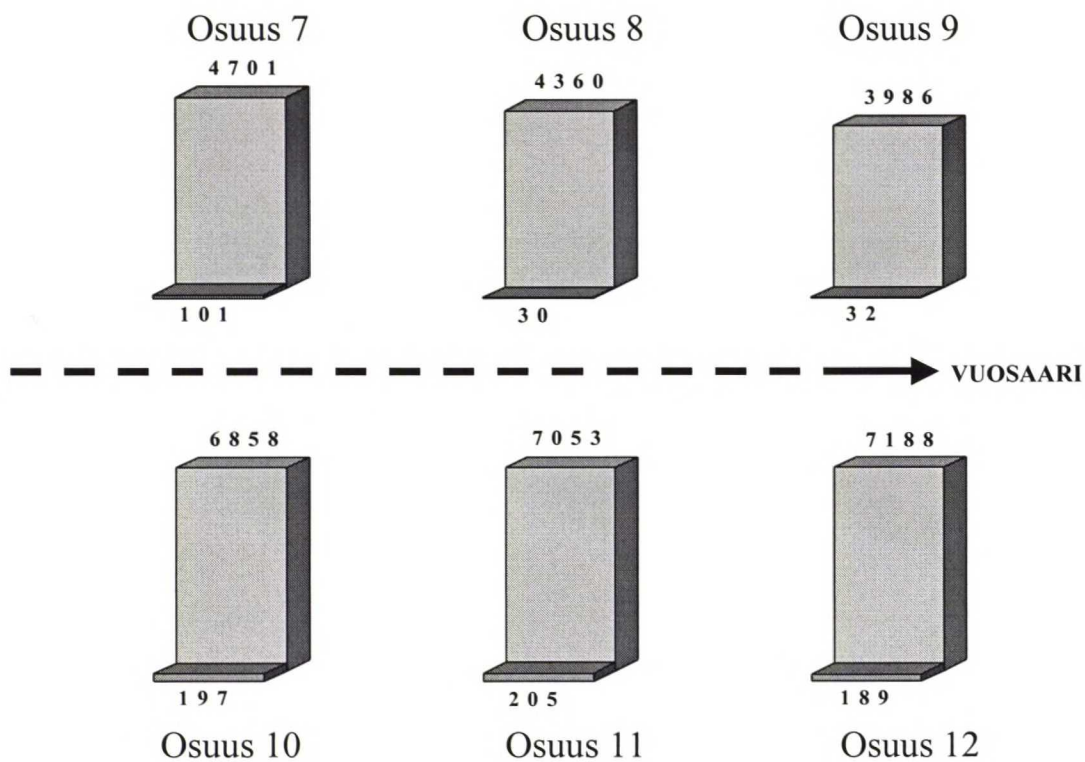
Osuuksien ominaisuuksien keskinäisen vertailun mahdollistamiseksi suoritettiin koe-
osuuksilla liikennelaskenta marraskuussa 2001 Tieliikelaitoksen konsultoinnin toimes-
ta. Laskenta tehtiin kuvan 43 mukaisilla automaattisilla liikenteenlaskentalaiteilla. Ku-
vissa 44 ja 45 on esitetty laskennan tulokset osuuksittain kevyet (vaalea palkki) ja ras-
kaat ajoneuvot (tumma palkki) eriteltyinä. Osuuden 4 raskaiden ajoneuvojen suuren
määrän selittää laitteistovika. /19/



Kuva 43. Automaattinen liikenteenlaskentalaite /19/

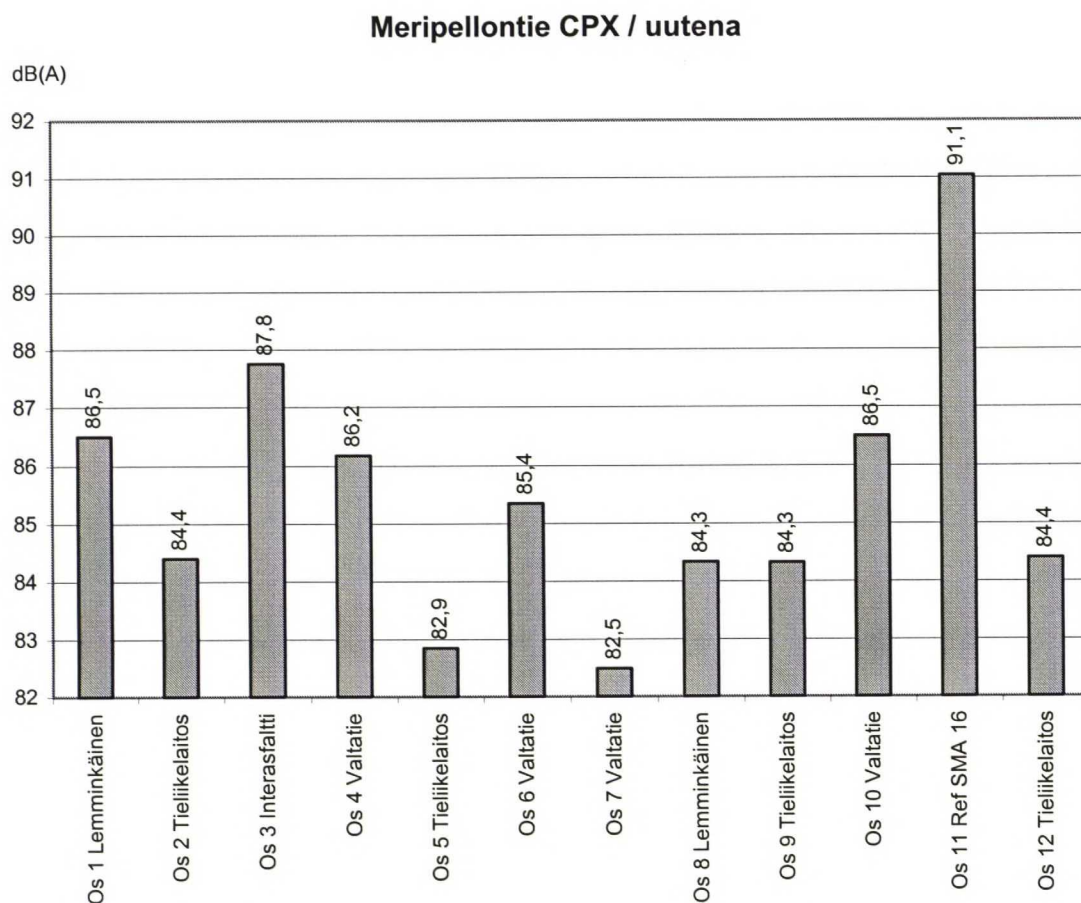


Kuva 44. Liikennelaskenta; osuudet 1-6 /19/



Kuva 45. Liikennelaskenta; osuudet 7-12 /19/

Meripellontien koeosuuksien meluominaisuuksien mittausta aloitettiin 14.8.2001 suoritettuilla CPX-mittauksilla. Sää oli mittausten aikana suotuisa lämpötilan ollessa 19-20 °C. Mittauksissa käytettiin referenssirengasta ASTM slick siten, että varsinaista ajo-kaistaa mitattaessa mittarengas kulki vasenta pyörän uraa ja vastaavasti ohituskaistaa mitattiin renkaan kulkiessa oikeaa pyörän uraa. Menettely perustuu täysin mittausperävaunun vaatimaan tilaa, eikä sillä voida ajatella olevan vaikutusta koeosuuksien keskinäiseen vertailuun. Mittauksista vastasi Teknillisen korkeakoulun autotekniikan laboratorio. /41/

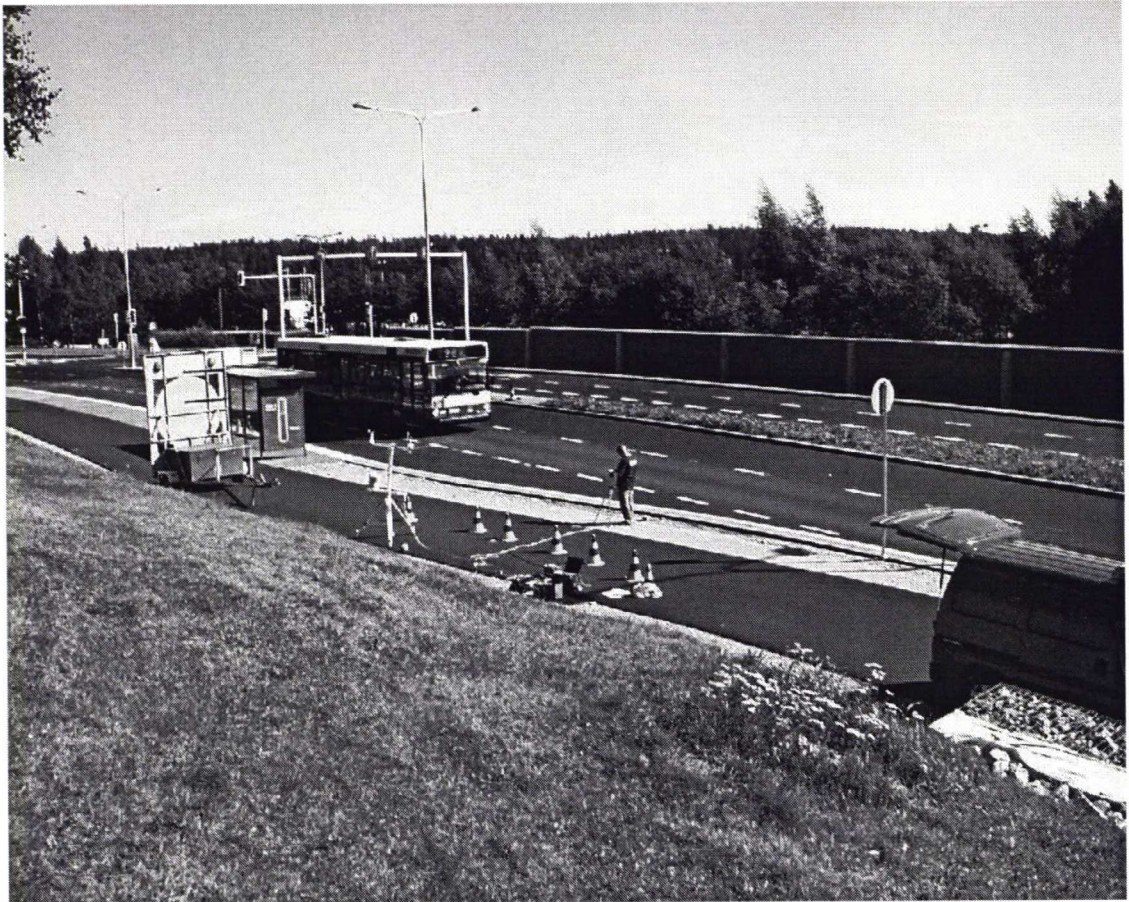


Kuva 46. Meripellontie; ensimmäiset CPX-mittaukset, L_{eq} /41/

Ensimmäiset tulokset osoittivat Meripellontien koepäällysteiden olevan CPX-menetelmällä mitattuina parhaimmillaan lähes kymmenen desibeliä referenssipäällystettä SMA 16 hiljaisempia (kuva 46). CPX-tuloksia tarkasteltaessa on kuitenkin hyvä pitää mielessä tulosten olevan renkaan välittömässä läheisyydessä mitattu rengas-tie -kosketuksessa syntyvä melu. Todellisessa, esimerkiksi jalankulkijan aistimassa, melussa erot ovat pienempiä. Onhan rengas-tie -kosketuksessa syntyvä melu vain osa ajoneuvon synnyttämää kokonaismelua. Joka tapauksessa saadut tulokset olivat hiljaisten päällysteiden kannalta varsin rohkaisevia. Kaikki hiljaiset koepäällysteet olivat selvästi

referenssipäällystettä hiljaisempia. Tämän lisäksi eri urakoitsijoiden tuotteille saatiin varsin suuria keskinäisiä eroja. Toisaalta myös saman urakoitsijan tuotteet erosivat toisistaan, mikä teki kulumismittausten tuloksista entistäkin mielenkiintoisempia.

Meripellontien melumittauksia jatkettiin käyttäen tilastollisen ohiajon menetelmää (kuva 47). Nämä SPB-mittaukset suoritettiin 14.-17.8.2001. Meripellontien koetie osoittautui menetelmän käytön kannalta varsin ongelmalliseksi. Tie on nelikaistainen, mikä vaikeuttaa yksittäisen ajokaistan, etenkin ohituskaistan, mittaamista. Lisäksi Kunnallisneuvoksientien ja Puotilantien liittymissä olevat liikennevalot vaikeuttavat mittaamista. Valot kasaavat ajoneuvoja jonoihin ja vastaavasti valojen vaihtuminen vihreäksi aiheuttaa kiihdyttämistä ja vaihteiden vaihtoa, ja näin tasanopeudella ajoon nähden myös poikkeuksellisen kovan moottorimelun. Myös nopeusrajoitus vaihtuu 50 km/h -> 60 km/h osuuksien 2,5,8 ja 11 puolella välissä. Toisaalta ajonopeuksien muutokset voidaan ottaa huomioon tuloksia laskettaessa, eikä nopeusrajoituksen vaihtumisella ole suoranaista vaikutusta tuloksiin (taulukko 16). /38/



Kuva 47. SPB-mittaukset Meripellontiellä

Edellä esitetyt ongelmat korostuivat osuuksilla 1,4,7 ja 10. Erityisesti osuuksilla 7 ja 10 ajoneuvot tulivat ajoittain mittauspisteeseen valoista kiihdyttäen. Siksi voidaan kyseisten osuuksien tuloksia pitää jonkin verran epäluotettavina. Kyseisillä osuuksilla mittauspaikalle ei ollut vaihtoehtoa osuuksien kohdalla olevan meluaidan takia. Myöhemmin esitettävistä tuloksista erityisesti osuuden 7 tulos poikkeaa varsin selvästi muista osuuksista ja mittausolosuhteiden perusteella se onkin syytä jättää pois tarkastelusta. /38/

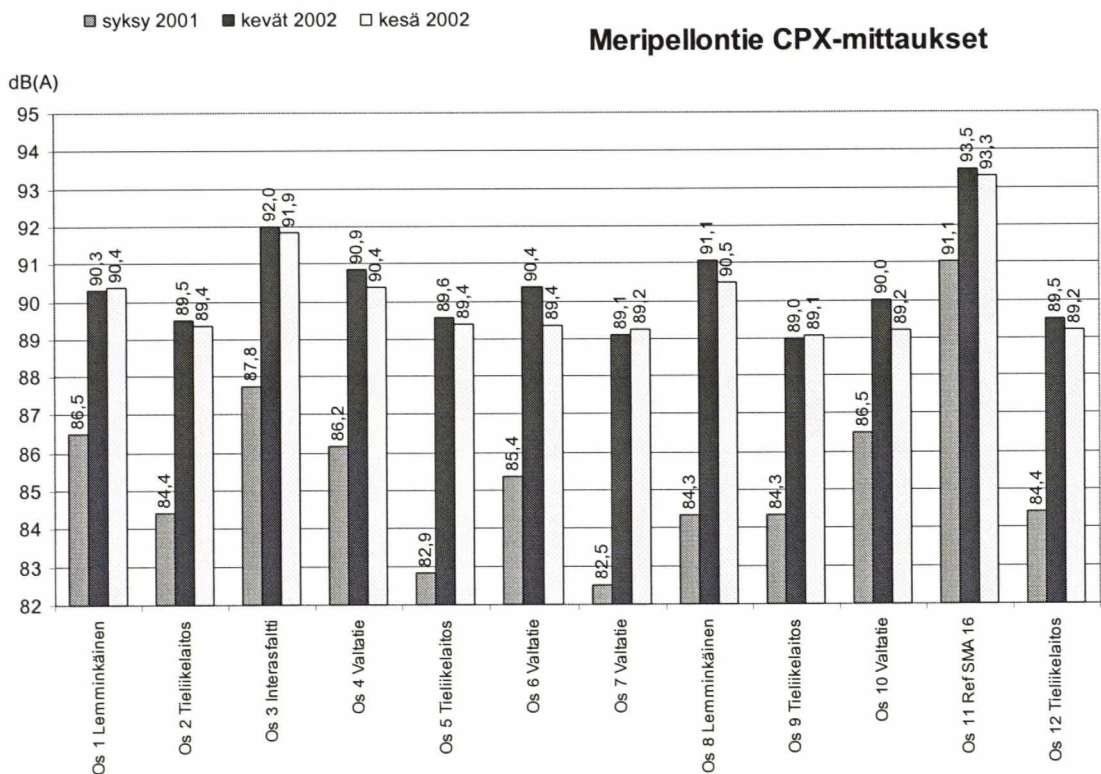
Ohituskaistoja mitattaessa (paitsi osuuksilla 4 ja 7) käytettiin mittausten nopeuttamiseksi liikenteenohjausaitaa, jolla liikenne ohjattiin kulkemaan mitattavaa kaistaa. On selvää, että menettelyllä on vaikutusta ajokäyttäytymiseen, etenkin ajonopeuden osalta. Oman ongelmansa Meripellontielle aiheutti koko koekohteen pituudelta ajoratoja reunustava 12 cm korkea reunakivi. Myös tämä käy ilmi tuloksia tarkasteltaessa (taulukko 16). Varsinaiset ajokaistat olivat SPB-menetelmällä mitaten suhteessa hiljaisempia kuin ohituskaistat verrattuna tuloksiin, jotka saatiin CPX-menetelmällä. Tulosten perusteella tämä todennäköisesti reunakivestä johtuva hiljeneminen oli jopa 4 dB(A). Reunakivi toimii mitattaessa merkityksellisenä, joskin varsin matalana meluaitana. Saatujen tulosten perusteella standardissakin mainittu huono soveltuvuus reunakivelliin kohteisiin on varsin perusteltu. /38/

Taulukko 16. Meripellontie; SPB-mittausten tulokset, LA, max /38/

SPB		dB(A) Melun aleneminen (dB)	
Os 5	Hiltti 3	64,8	4,8
Os 1	Whisperphalt T	65,0	4
Os 2	Hiltti 3	66,1	3,5
Os 12	SMA 6	66,7	2,9
Os 8	Whisperphalt T	67,5	2,1
Os 4	Hilja T	68,4	1,2
Os 6	Hilja K	69,6	0
Os 11	SMA 16	69,6	-
Os 9	SMA 6	69,6	0
Os 10	Hilja OK	69,9	+0,3
Os 3	Viacodrän 11A	69,9	+0,3
Os 7	Hilja OT	70,0	

SPB-mittausten ongelmat Meripellontiellä näkyvät erityisesti osuuden 7 kohdalla. Huolestuttavaa on lisäksi referenssipäällysteen SMA 16 sijoittuminen. Vaunumittausten perusteella oli odotettavissa referenssipäällysteen olevan selvästi meluisin myös SPB-menetelmällä mitattuna. Nyt referenssipäällyste on meluisimpien joukossa, tosin niin, että viisi muutakin osuutta on saanut lähes saman tuloksen. Näin on CPX-mittauksissa saatu selvä ero hävinnyt. Toisaalta ero hiljaisimpaan Hiltti 3-päällysteeseen on edelleen varsin suuri 4,8 dB(A). /38/

Kevään ja kesän 2002 SPB-mittaustuloksia ei tässä yhteydessä työn rajauksen vuoksi käsitellä. Keväällä ja kesällä 2002 suoritettujen CPX-mittausten tuloksista (kuva 48) voidaan havaita selvästi nastarengaskulumisen vaikutus hiljaisten päällysteiden meluominaisuuksiin. Suurimmillaan koeosuuksien CPX-mittaustulosten voidaan todeta kasvaneen noin 7 desibeliä. Referenssiosuudella melutason kasvu on ollut selvästi vähäisempää. Kevään mittaus suoritettiin 2.5.2002 (toiset palkit) ja mittaukset toistettiin 5.8.2002 (kolmannet palkit), jotta mahdollinen deformaation aiheuttama päällysteen melutason lasku saataisiin selville. Tuloksista kuitenkin havaitaan, ettei mittausajankohdalla ollut juuri vaikutusta, etenkin jos tuloksia verrataan vuonna 2001 mitattuihin melutasoihin. On siis todettava nastarengaskulumuksen olevan varsin haitallista päällysteiden meluominaisuuksien kannalta. /41/



Kuva 48. Meripellontie; CPX-mittaukset: kesä 2001, kevät ja kesä 2002, L_{eq} /41/

Edellä esitettyjen melumittausten lisäksi Meripellontiellä on suoritettu mittauksia CB-menetelmää soveltaen. Tuloksia ei työn rajauksen vuoksi käsitellä varsinaisesti tässä yhteydessä. Menetelmä vaikuttaa kuitenkin toimivalta, vaikka erot hiljaisimpien osuuksien ja referenssipäällysteen välillä ovatkin vain neljä desibeliä. Toisaalta SPB-menetelmällä saatujen tulosten ja menetelmien samankaltaisuuden johdosta tulokset ovat varsin odotettuja.

Meluominaisuuksien lisäksi on Meripellontiellä tutkittu laser-profilometrillä päällysteiden urautumista ja etenkin nastarengaskulumista. Mittauksia Meripellontiellä on tehty tähän mennessä kesällä ja syksyllä 2001 ja keväällä 2002 seuraavasti: /13/

- 2.-3.7.2001 (osuudet 1-6)
- 11.-12.7.2001 (osuudet 7-12)
- 24.-25.10.2001 (kaikki osuudet)
- 6.-7.5.2002 (kaikki osuudet)

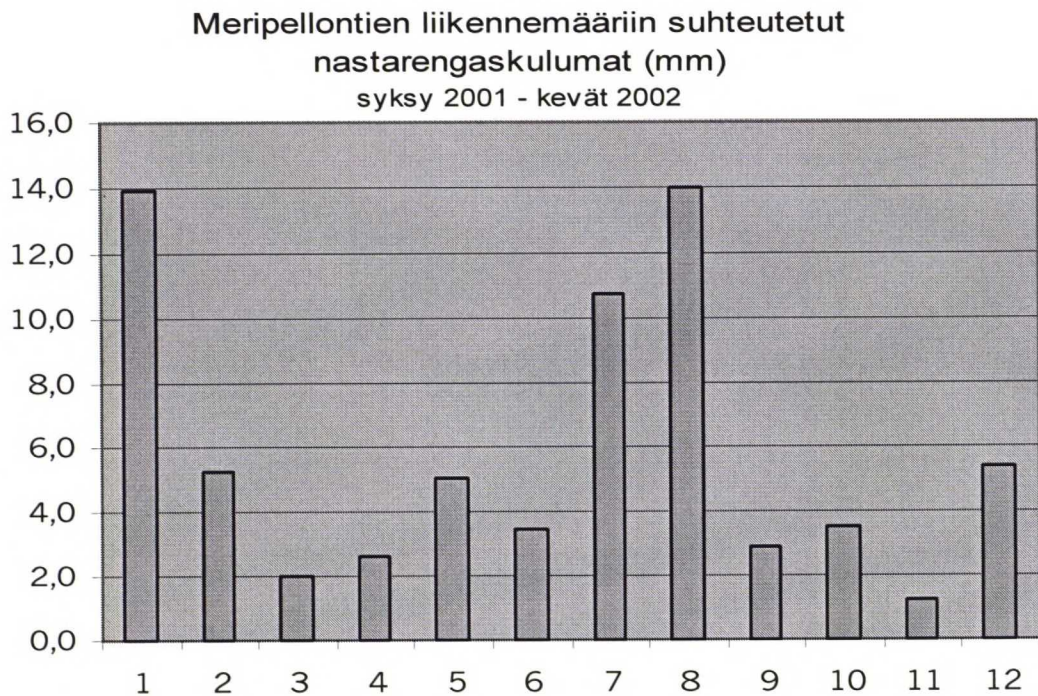
Meripellontien uramittausten tulokset osoittavat koepäällysteiden kuluneen varsin vaihtelevasti. Pienimmillään ero referenssipäällysteeseen (osuus 11) on alle kaksikermainen ja vastaavasti suurimmillaan kymmenkertainen. Taulukkoon 17 on koottu todelliset urasyvyyden muutokset ja taulukossa 18 niitä on korjattu suhteessa referenssiosuuden liikennemäärään. Liikennemääräkorjauksessa on huomioitu ainoastaan kevyet (nastarenkaita käyttävät) ajoneuvot. Kuvassa 49 on esitetty Meripellontien liikennemääriin suhteutetut nastarengaskulumat graafisesti.

Taulukko 17. Meripellontie; korjaamattomat, todelliset urasyvyydet /13/

MERIPELLONTIE:korjaamattomat, todelliset tulokset							
Osuus	KVL		Kokonaisurasyvyydet, ka (mm)			Urasyvyyden muutokset, ka (mm)	
	kevyt	raskas	kesä 01	syksy 01	kevät 01	kesä 01-syksy 01	syksy 01-kevät 02
1	6080	239	1,0	1,3	13,3	0,2	12,0
2	6953	183	0,3	0,8	6,0	0,4	5,2
3	7260	209	2,6	2,8	4,8	0,2	2,0
4	4748	40	0,6	1,1	2,9	0,6	1,8
5	4662	41	0,9	1,9	5,2	1,0	3,3
6	4021	44	1,7	2,1	4,1	0,4	2,0
7	4701	113	1,7	2,3	9,5	0,6	7,2
8	4360	44	1,4	1,9	10,6	0,5	8,7
9	3986	50	1,7	2,0	3,7	0,3	1,6
10	6858	229	2,3	2,5	5,9	0,2	3,4
11	7053	236	2,2	2,4	3,7	0,2	1,2
12	7188	217	1,8	2,2	7,7	0,4	5,5

Taulukko 18. Meripellontie; liikennemääräkorjatut nastarengaskulumiset /13/

MERIPELLONTIE: nastarengaskuluminen korjattu liikennemäärien suhteen (KVL kevyt)			
Osuus	Liikennemäärän korjauskerroin	Urasyvyyden muutokset, ka (mm)	
		tuote	syksy 01-kevät 02
1	0,86	Whisperphalt T	13,9
2	0,99	Hiltti 3	5,3
3	1,03	Viacodrän 11A	2,0
4	0,67	Hilja T	2,6
5	0,66	Hiltti 3	5,1
6	0,57	Hilja K	3,5
7	0,67	Hilja OT	10,7
8	0,62	Whisperphalt T	14,0
9	0,57	SMA 6	2,9
10	0,97	Hilja OK	3,5
11	1,00	SMA 16 ref.	1,2
12	1,02	SMA 6	5,4



Kuva 49. Meripellontie; liikennemääriin suhteutetut nastarengaskulumat (mm) /13/

Osana kulumistutkimusta porattiin Meripellontieltä Ø100 mm koekappaleita Prall-kokeita varten. Taulukossa 19 on esitetty Prall-kokeiden tulokset (950 kierrosta minuutissa, vesikierto 2 litraa minuutissa, lämpötila +5°C). /19/

Taulukko 19. Meripellontie; koekappaleista tehtyjen Prall-kokeiden tulokset /19/

Koeosuus nro	Päällyste	Prall-arvo (keskiarvo, cm³)	ehjät ajetut kappaleet (kpl, tulokset laskettu näistä)	Rikkoutuneet (kpl)
1	Whisperphalt T	19,4	6	-
2, 5	Hiltti 3	35,2	3+1	0+1
3	Viacodrän 11A	-	4 ¹⁾	2
4	Hilja T	42,2	3	1
6	Hilja K	38,4	6	-
7	Hilja OT	56,2	4	-
8	Whisperphalt T	16,7	6	-
9, 12	SMA 6	25,0	2+4	-
10	Hilja OK	34,6	6	-
11	SMA 16 (referenssi)	21,0	6 ²⁾	-

1) kaikissa ajetuissa kappaleissa tapahtui huomattavaa purkautumista

2) yhdessä kappaleessa purkautumista

Tarkasteltaessa uramittauksissa ja Prall-kokeissa saatuja tuloksia keskenään, havaitaan Prall-kokeissa erittäin hyvin kestäneiden Whisperphalt-päällysteiden kuluvan todellisuudessa varsin paljon. Meripellontieellä tämä todellinen tiekuluma oli Whisperphalt-päällysteiden osalta noin 14 millimetriä. Whisperphaltin kaltaisten päällysteiden todellisen tiekuluman ja Prall-kokeen välinen yhteys on siis varsin huono, pikemminkin kääntäen verrannollinen. Vastaavasti Viacodrän-päällyste ei kestänyt Prall-koetta normaaleilla asetuksilla lainkaan, vaikka tiekuluma on osuuksista referenssisuuden jälkeen toiseksi pienin.

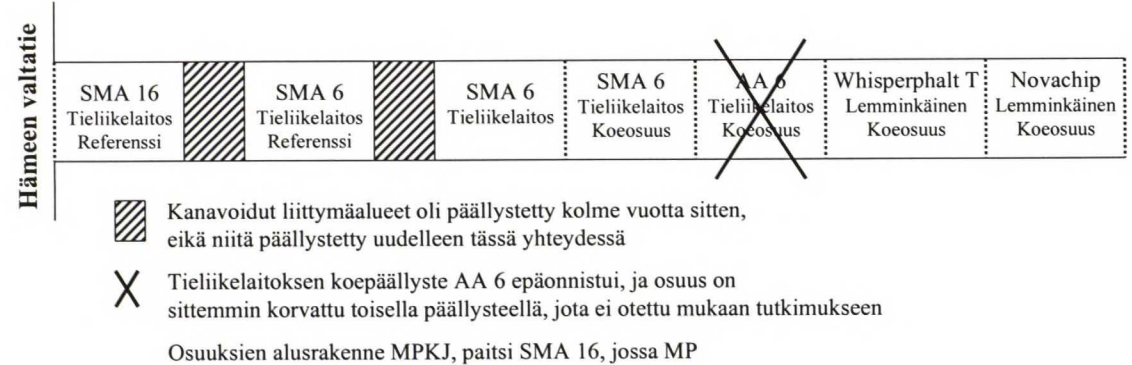
Edelleen todellisia kulumistuloksia tarkasteltaessa havaitaan hiljaisten päällysteiden kuluneen osuuksia 1,7 ja 8 lukuun ottamatta noin 1,5...4-kertaisesti referenssisuuteen SMA 16 verrattuina. Tulokset ovat varsin odotettuja ja osoittavat selvästi hiljaisten päällysteiden kulumisominaisuuksissa tapahtuneen kehityksen. Osoitettiinhan Korson Kulomäentieellä tehtyjen mittausten perusteella SMA 5 -päällysteen kuluneen yhdessä talvessa jopa 10-kertaisesti vertailupäällysteeseen SMA 16 verrattuna.

Edellä esitettyjen melu- ja kulumistutkimusten lisäksi Meripellontieltä on mitattu päällysteen makrokarkeutta Sand patch -menetelmällä. Tuloksia ei työn rajauksen vuoksi kuitenkaan tässä yhteydessä esitetä.

7.5.3 KAARINATIE, KAARINA

Kaarinatielle (yt 2200) rakennettiin syyskuussa 2001 neljä koeosuutta ja kaksi referenssiosuutta käsittävä koetie (kuva 50). Kohde on yksiajoratainen, kaksikaistainen metsäisen asuinalueen läpi kulkeva tie, jonka tienpidosta vastaa Tiehallinnon Turun tiepiiri. Koetien alueella tiellä on muutamia kanavoituja liittymiä, loivia mäkiä ja kaarteita. Nopeusrajoitus on 60 km/h. Liikennevaloja ei koetien alueella ole. Koetien tarkoituksena on, kuten Meripellontielläkin, vertailla erilaisia melun mittausmenetelmiä sekä erilaisia hiljaisia päällysteitä. Olennaisena osana tutkimusta tässäkin kohteessa on koetien kulutuskestävyys. /19/

KAARINA, Kaarintie, yt 2200



Kuva 50. Kaarintien koeosuudet /19/

Kaarintien päällystystyöt tehtiin 12.-18.9.2001 urakoitsijan ollessa Tieliikelaitos. Päällystyksestä vastasi Tieliikelaitoksen ohella Lemminkäinen, joka suoritti Novachip-päällysteen levittämisen erikoiskalustollaan (kuva 51). Lemminkäisen toisen koeosuuden, Whisperphaltin, levitti Tieliikelaitos. Kaikki koeosuudet (taulukko 20) tehtiin noin 200 metrin pituisina koko ajoradan leveydelle. Alkuperäisistä koeosuuksista Tieliikelaitoksen AA 6 -osuus jyrättiin pois jo samana syksynä päällysteen epäonnistumisen takia (kuva 50). Tieliikelaitoksen asfalttiasemalta Maantiekylästä Kaarinaan (noin 150 km) kuljetettu massa oli asemalla tehty pitkää kuljetusmatkaa silmällä pitäen varsin kuumaksi. Normaalista suurempi lämpötila aiheutti kuitenkin sideaineen palamisen, mikä levitettäessä ilmeni massan huonona työstettävyytenä ja myöhemmin päällysteen voimakkaana purkautumisena.

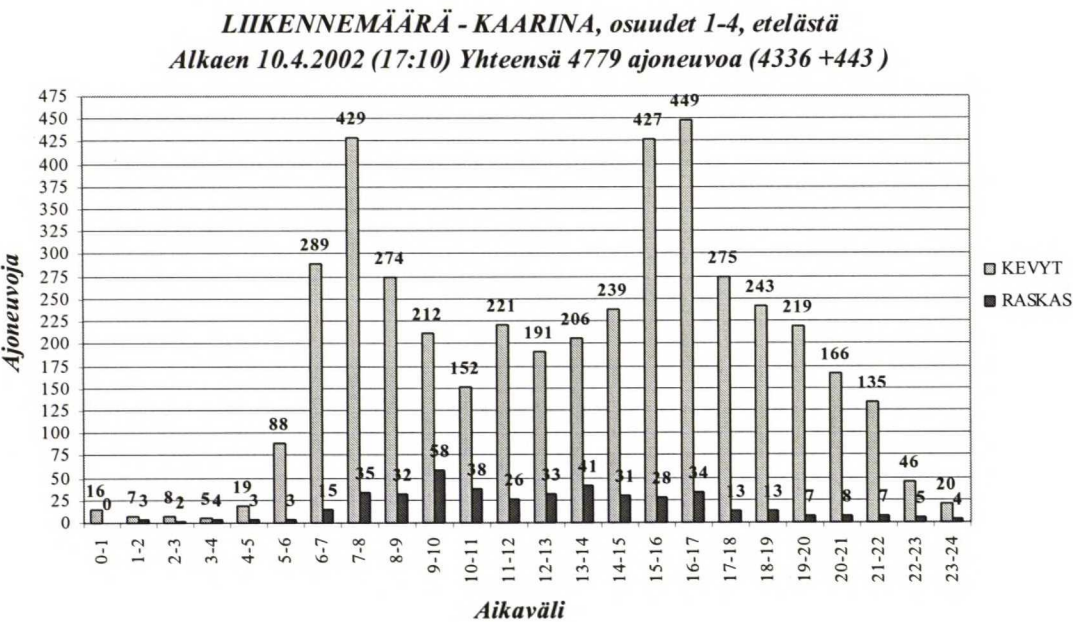
Taulukko 20. Kaarinatien koepäällysteet /19/

Koeosuus nro	Päällyste	Urakoitsija
1	Novachip 60 kg/m ²	Lemminkäinen
2	Whisperphalt T 70 kg/m ² (Tieliikelaitos levitti)	Lemminkäinen
3	AA 6 60 kg/m ² (Maantiekylän massa), (epäonnistui)	Tieliikelaitos
4	SMA 6 60 kg/m ² (Maantiekylän massa)	Tieliikelaitos
5	SMA 6 60 kg/m ² (referenssi)	Tieliikelaitos
6	SMA 16 60 kg/m ² (referenssi)	Tieliikelaitos

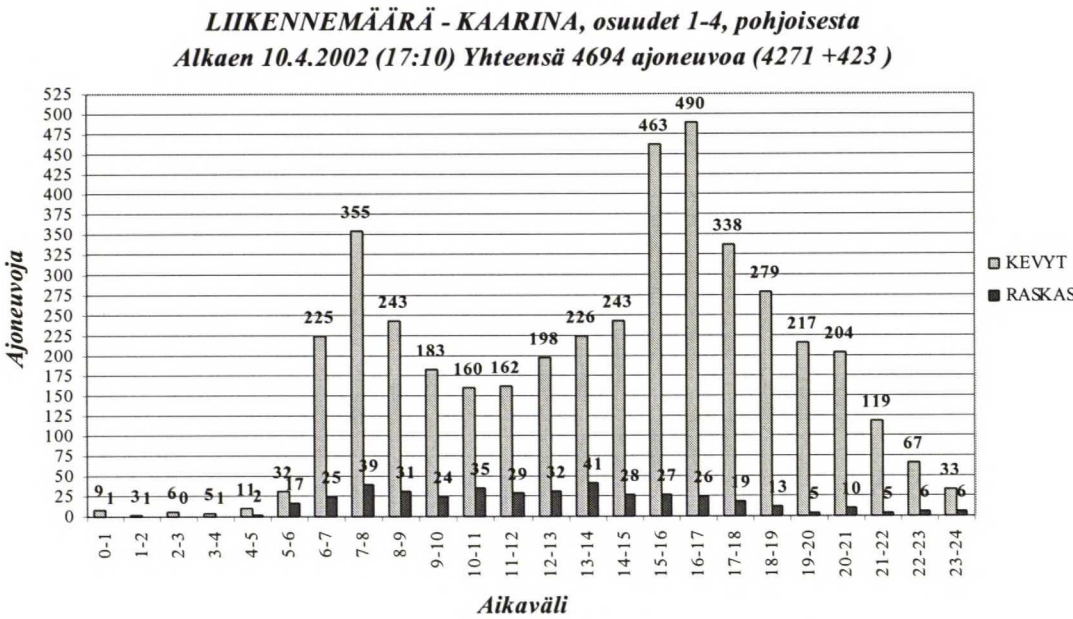


Kuva 51. Kaarinatien koeosuuksien rakentamista (Novachip) /19/

Osuuksien ominaisuuksien vertailun mahdollistamiseksi suoritettiin koeosuuksilla liikennelaskenta huhtikuussa 2002. Kuvissa 52-55 on esitetty laskennan tulokset osuukittain kevyet ja raskaat ajoneuvot eriteltynä. /19/

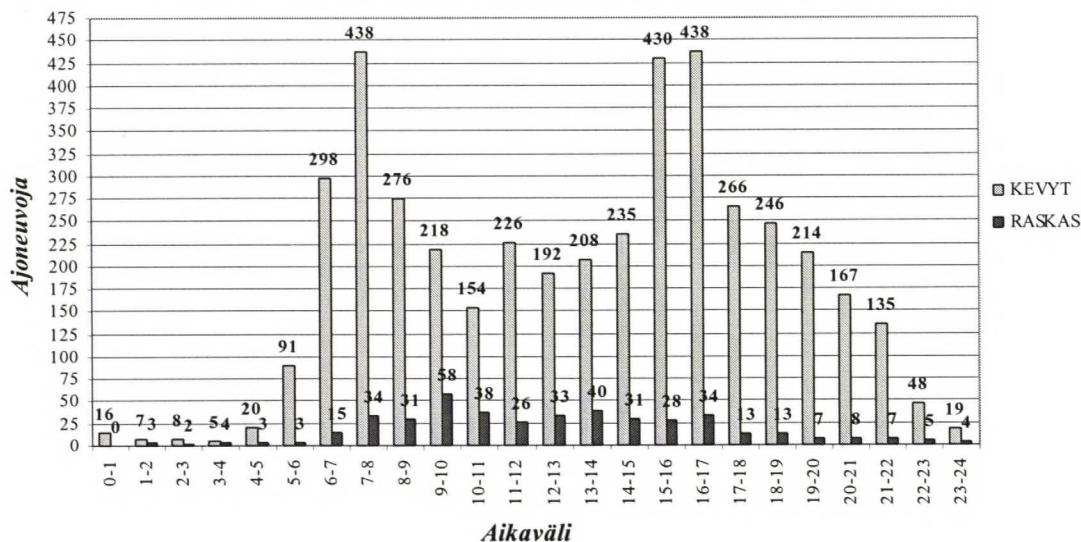


Kuva 52. Kaarinatien koeosuuksien liikennemäärät; osuudet 1,2,3,4 etelästä /19/



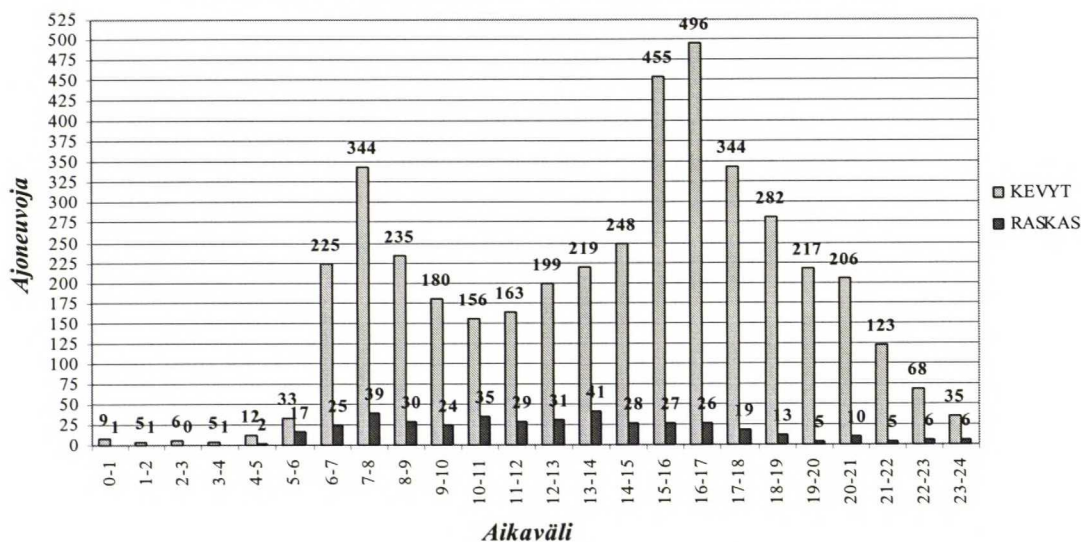
Kuva 53. Kaarinatien koeosuuksien liikennemäärät; osuudet 1,2,3,4 pohjoisesta /19/

LIIKENNEMÄÄRÄ - KAARINA, osuudet 5 ja 6, etelästä
Alkaen 10.4.2002 (17:10) Yhteensä 4795 ajoneuvoa (4355 + 440)



Kuva 54. Kaarinatien koeosuuksien liikennemäärät; osuudet 5,6 etelästä /19/

LIIKENNEMÄÄRÄ - KAARINA, osuudet 5 ja 6, pohjoisesta
Alkaen 10.4.2002 (17:10) Yhteensä 4686 ajoneuvoa (4265 + 421)



Kuva 55. Kaarinatien koeosuuksien liikennemäärät; osuudet 5,6 pohjoisesta /19/

Kaarination liikennelaskennan yhteydessä mitattiin ajoneuvojen nopeuksia Doppler-tutkalla seuraavin tuloksin. /19/

Etelästä:

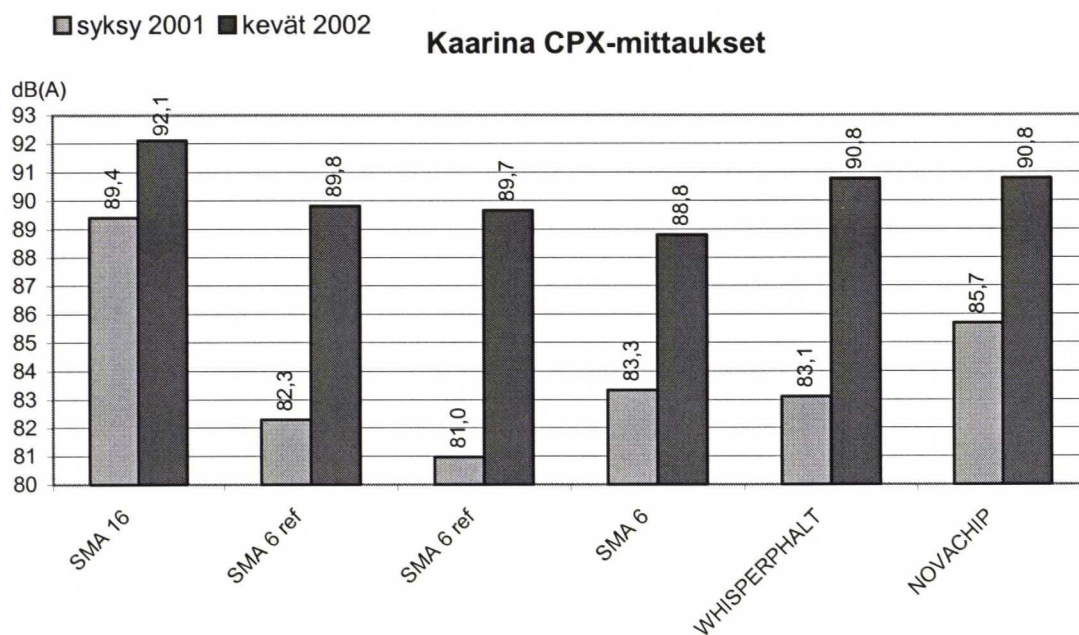
Keskinopeus: 68,5 km/h, nopeuksien keskihajonta: 8,2 km/h, otos: 239 ajoneuvoa

Pohjoisesta:

Keskinopeus: 66,7 km/h, nopeuksien keskihajonta: 6,4 km/h, otos: 227 ajoneuvoa

Kaarination koeosuuksien meluominaisuuksien mittaus aloitettiin 21.9.2001 suorite-
tuilla CPX-mittauksilla. Sää oli mittausten aikana suotuisa lämpötilan ollessa 15-16
°C. Mittaukset toistettiin 8.5.2002. Tällöin mittaolosuhteet olivat ihanteelliset läm-
pötilan ollessa 23°C. Mittauksissa käytettiin referenssirengasta ASTM slick. Mittauk-
sista vastasi Teknillisen korkeakoulun autotekniikan laboratorio. /41/

Ensimmäiset tulokset (kuva 56) osoittivat Kaarination koepäällysteiden olevan CPX-
menetelmällä mitattuina parhaimmillaan noin yhdeksän desibeliä referenssipäällystettä
SMA 16 hiljaisempia. Saadut tulokset olivat, kuten Meripellontielläkin, hiljaisten pääl-
lysteiden kannalta varsin rohkaisevia. Kaikki hiljaiset koepäällysteet olivat selvästi re-
ferenssipäällystettä hiljaisempia. Vastaavasti kuten Meripellontiellä koepäällysteiden
rengasmelutasot kuitenkin nousivat yhden nastarengaskauden jälkeen varsin selvästi.
Talven jälkeen ero referenssipäällysteeseen oli suurimmillaankin vain noin 3,5 desibe-
liä. /41/



Kuva 56. Kaarina; CPX-mittausten tulokset, L_{eq} /41/

Myös Kaarinatiellä mitattiin päällysteiden melutasoa käyttäen tilastollisen ohiajon menetelmää. Nämä SPB-mittaukset suoritettiin 23.-24.10.2001. Kyseinen ajankohta oli mittausten suorittamisen kannalta myöhäinen. Ajankohdan takia lähes kaikki mittaukset tehtiin standardin suositteleman minimilämpötilan +5°C alapuolella. Mittauspaikana Kaarinatie on selvästi Meripellontietä parempi. Osuuksilla ei ole liikennevaloja, reunakiviä, eikä meluaitoja. Tie on kaksikaistainen, eikä reunaympäristö aseta rajoituksia mittausta paikan valinnalle. /38/

Kaarinatien osalta ero referenssipäällysteeseen SMA 16 on SPB-menetelmällä mitattuna pienimmilläänkin kolme desibeliä ja suurimmillaan lähes kuusi desibeliä (taulukko 21). Suuremmat erot Meripellontiehen nähden lienevät perusteltavissa lähinnä paremmalla mittausta kohteella.

Taulukko 21. Kaarinatie; SPB-mittausten tulokset, LA, max /38/

SPB	(dB)	Melun aleneminen (dB)
Whisperphalt T	66,7	5,9
SMA 6 ref	69,1	3,3
SMA 6	69,4	3,2
Novachip	69,6	3,0
SMA 16	72,6	-

AA 6 jätettiin mittaamatta koska päällyste epäonnistui

Meluominaisuuksien lisäksi Kaarinatiellä on tutkittu laser-profilometrillä päällysteiden urautumista ja etenkin nastarengaskulumista. Mittauksia Kaarinatiellä on suoritettu syksyllä 2001 ja keväällä 2002 seuraavina ajankohtina: 21.-21.8.2001 ja 6.-7.5.2002. /13/

Kaarinatien uramittausten tulokset osoittavat koepäällysteiden kuluneen referenssiosuuteen (osuus 5) nähden melko vähän. Tieliikelaitoksen SMA 6 -päällysteen (Maantiekylä) kulumisen on ollut jopa referenssipäällystettä vähäisempää. Suurinta kulumisen on ollut osuudella 3 (Tieliikelaitoksen siirrettävä asema), jonka kulumisen on ollut hieman yli kaksinkertaista referenssiosuuteen nähden. Taulukkoon 22 on koottu todelliset urasyvyyden muutokset ja taulukossa 23 niitä on korjattu suhteessa referenssiosuuden liikennemäärään (liikennemäärien suhde ~1,00). Kuvassa 57 on esitetty Kaarinatien liikennemääriin suhteutetut nastarengaskulumat graafisesti.

Taulukoissa 22 ja 23 on esitetty Kaarinatien uramittausten tulokset:

Taulukko 22. Kaarinatie; korjaamattomat, todelliset urasyvyydet /13/

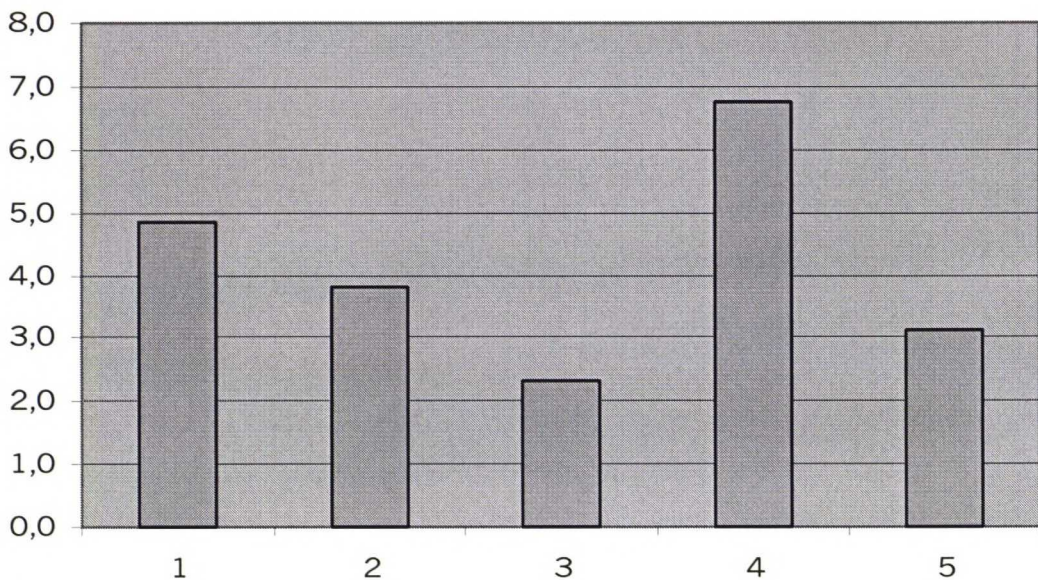
KAARINATIE: korjaamattomat, todelliset tulokset							
Osuus	KVL		Kokonaisurasyvyydet, ka (mm)			Urasyvyyden muutokset, ka (mm)	
	kevyt	raskas	kesä 01	syksy 01	kevät 01	kesä 01-syksy 01	syksy 01-kevät 02
1	4336	443	ei mitattu	2,0	6,8	2,0	4,8
2	4336	443		2,0	5,8	2,0	3,8
3	4336	443		2,0	4,3	2,0	2,3
4	4355	440		0,9	7,6	0,9	6,7
5	4355	440		2,3	5,4	2,3	3,1

Taulukko 23: Kaarinatie; liikennemääräkorjatut nastarengaskulumiset /13/

KAARINATIE: nastarengaskuluminen korjattu liikennemäärien suhteen (KVL kevyt)				
Osuus	Liikennemäärän korjauskertoimen		Urasyvyyden muutokset, ka (mm)	
			tuote	syksy 01-kevät 02
1	1,00		Novachip	4,9
2	1,00		Whisperphalt T	3,8
3	1,00		SMA 6	2,3
4	1,00		SMA 6 ref	6,7
5	1,00		SMA 16 ref.	3,1

Taulukon arvot ovat pyöristettyjä. Todellisuudessa osuuksilla 1-3 on korjauskertoimenä käytetty 4336/4355=0,99564..., mikä selittää Novachip-päällysteen urasyvyyden kasvun.

Kaarinatien nastarengaskulumat (mm)
syksy 2001 - kevät 2002



Kuva 57. Kaarinatie; nastarengaskulumat (mm) /13/

Osana kulumistutkimusta porattiin Kaarinatieltä Ø100 mm koekappaleita Prall-kokeita varten (950 kierrosta minuutissa, vesikierto 2 litraa minuutissa, lämpötila +5°C). Tarkasteltaessa Prall-kokeissa saatuja tuloksia (taulukko 24) ja todellista tiekulumaa keskenään havaitaan näiden keskinäisen korrelaation olevan selvästi Meripellontietä parempi. /19/

Taulukko 24. Kaarinatie; koekappaleista tehtyjen Prall-kokeiden tulokset /19/

Koeosuus nro	Päällyste	Prall-arvo (keskiarvo, cm³)	ehjät ajetut kappaleet (kpl, tulokset laskettu näistä)	Rikkoutuneet (kpl)
1	Novachip	64,7	1	2+3 ¹⁾
2	Whisperphalt T	32,5	5	0+1 ¹⁾
3	AA-6	-	0	6
3	SMA 6	31,0	6	-
4	SMA 6 (referenssi)	79,4	2	4
5	SMA 16 (referenssi)	27,7	6	-

1) porakappaleet alunperinkin liian ohuita (< 30 mm) Prall-kokeeseen

7.5.4 POHJOINEN OHIKULKUTIE, KOKKOLA

Kokkolan pohjoisen ohikulkutien (st 749) päällystysurakan yhteydessä rakennettiin elokuussa 2001 kaksi erillistä koetietä käsittävä koekohde (kuvat 58, 59 ja 60). Ensimmäisen koetien tarkoituksena on selvittää hiljaisten päällysteiden tie-rengas -kosketuksessa syntyvän melun leviämistä pohjoismaisen melunlaskentamallin kannalta. Kohteessa suoritettavilla mittauksilla pyritään keräämään aineistoa melunlaskentamalliin sisällytettävää *hiljainen päällyste* -työkalua varten. Osaltaan kohde toimii myös erilaisten melumittausmenetelmien vertailukohteena, kuten Meripellontie ja Kaarinatie. Toisen koetien tarkoituksena on todellisen tiekuluman ja Prall-kokeen vertailu. Koetiellä on käytetty kahta erikovuista kiveä ja sideainetta. /19/

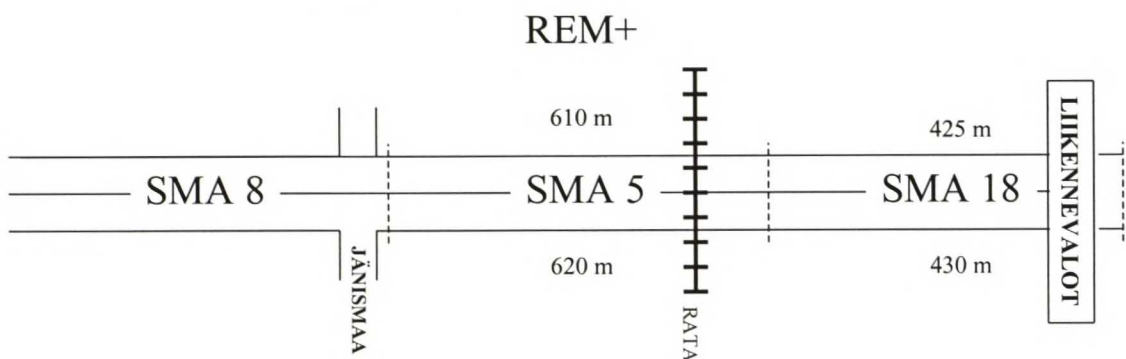
Koko Kokkolan pohjoisen ohikulkutien koekohde soveltuu niin geometrialtaan kuin vierialueiltaankin erinomaisesti sekä meluominaisuuksien että päällysteen kestävyysvertailuun. Koeosuudet sijaitsevat suorilla tieosuuksilla vierialueiden pysyessä varsin muuttumattomina. Tien lähialueilla ei sijaitse käytännössä mitään melua heijastavia kohteita, eikä taustameluun merkittävästi vaikuttavia äänilähteitä, risteävää joskin varsin vähäliikenteistä junarataa lukuun ottamatta. Suorien ja tasaisten osuuksien sekä lukumäärältään vähäisten liittymien vuoksi ajonopeudet pysyvät varsin tasaisina. /19/



Kuva 58. Kokkolan koealueen rakentamista /19/

Melun leviämismittauksia varten rakennettiin kuvan 59 mukaisesti kolme noin 500 metrin mittaista koeosuutta koko ajoradan leveydelle. Koeosuudet rakennettiin normien mukaisista SMA -päällysteistä REM+ -menetelmällä. Urakoitsijana toimi Valtatie Oy. /19/

MELUN LEVIÄMISEN KOETIE KOKKOLA, Pohjoinen ohikulkutie, st 749



Kuva 59. Kokkolan pohjoinen ohikulkutie; melun leviämisen koetie /19/

Prall-kokeen ja todellisen tiekuluman vertailuun rakennettiin kuvan 60 mukainen kolme koeosuutta käsittävä koetie. Osuudet toteutettiin REM+ -menetelmällä. /19/



Kuva 60. Kokkolan pohjoinen ohikulkutie; päällysteen kulumisen koetie /19/

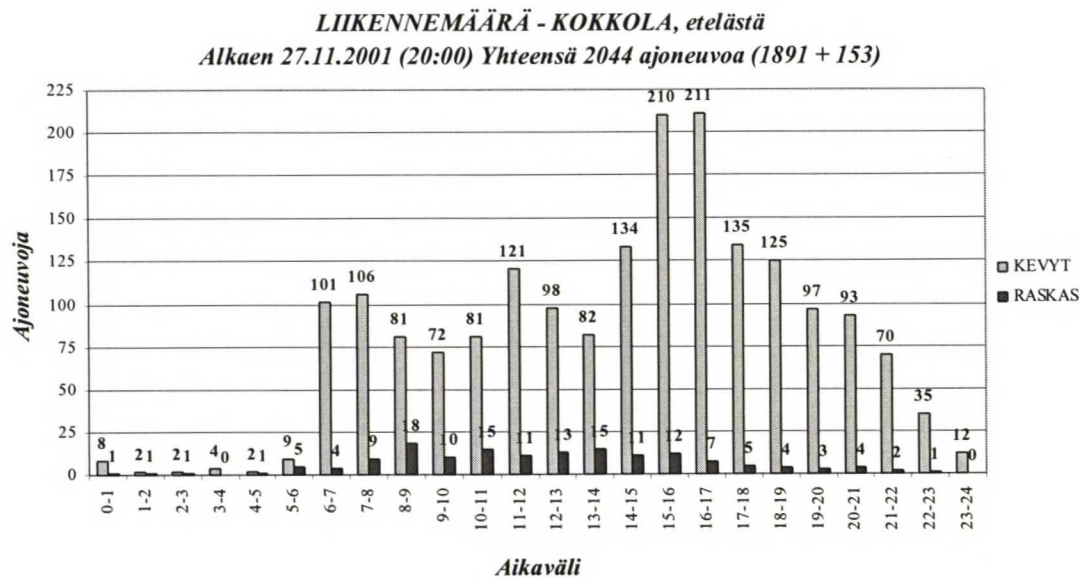
Taulukkoon 25 on koottu päällysteet, joita käytettiin Kokkolan pohjoisen ohikulkutien päällysteen kulumisen koetiellä:

Taulukko 25. Kokkola; päällysteen kulumisen koetie /19/

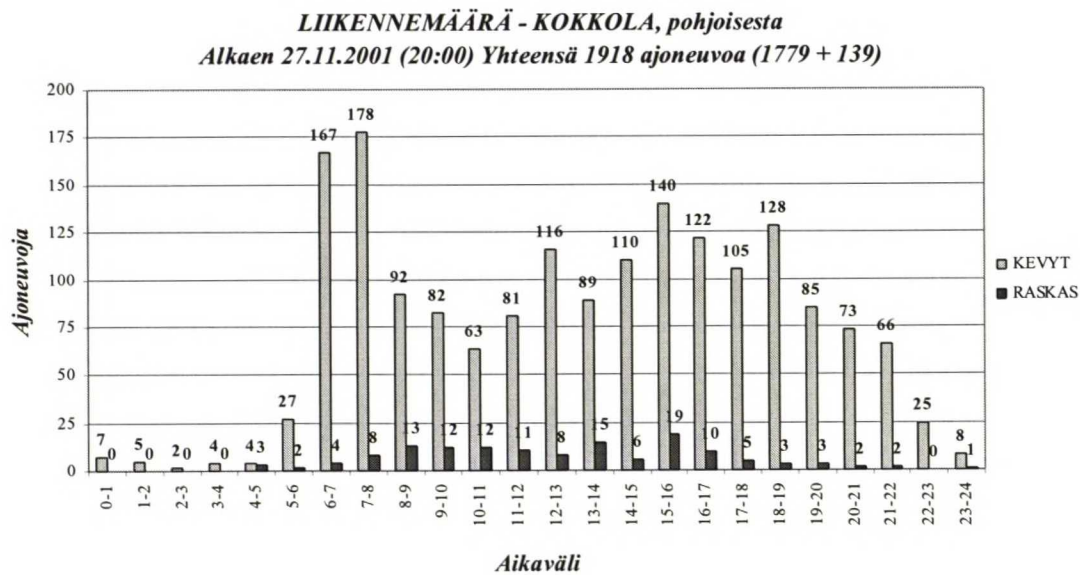
Koeosuus nro	Päällyste	Urakoitsija
1 ja 3	SMA 8 B70/100 Hopiokallio (referenssi)	Valtatie
2	SMA 8 B70/100 Lepplax	Valtatie
4	SMA 8 B100/150 Hopiokallio	Valtatie

Koetiellä on tarkoitus selvittää erikovuisten kiven ja sideaineen vaikutus päällysteen kulumiseen niin todellisissa olosuhteissa kuin Prall-kokeessa laboratorio-olosuhteissa. Kivistä Lepplaxin kivi on kuulamylykokeen perusteella III-luokkaa ja Hopiokallion kivi I-luokkaa.

Kulumiskoeosuuksien ominaisuuksien vertailun mahdollistamiseksi suoritettiin koe-
osuuksilla liikennelaskenta marraskuussa 2001. Kuvissa 61 ja 62 on esitetty laskennan
tulokset osuuksittain kevyet ja raskaat ajoneuvot eriteltyinä.



Kuva 61. Kokkolan kulumiskoeosuuksien liikennemäärät; etelästä /19/



Kuva 62. Kokkolan kulumiskoeosuuksien liikennemäärät; pohjoisesta /19/

Kokkolan liikennelaskennan yhteydessä ajoneuvojen nopeutta mitattiin Doppler-tutkalla seuraavin tuloksin: /19/

Etelästä:

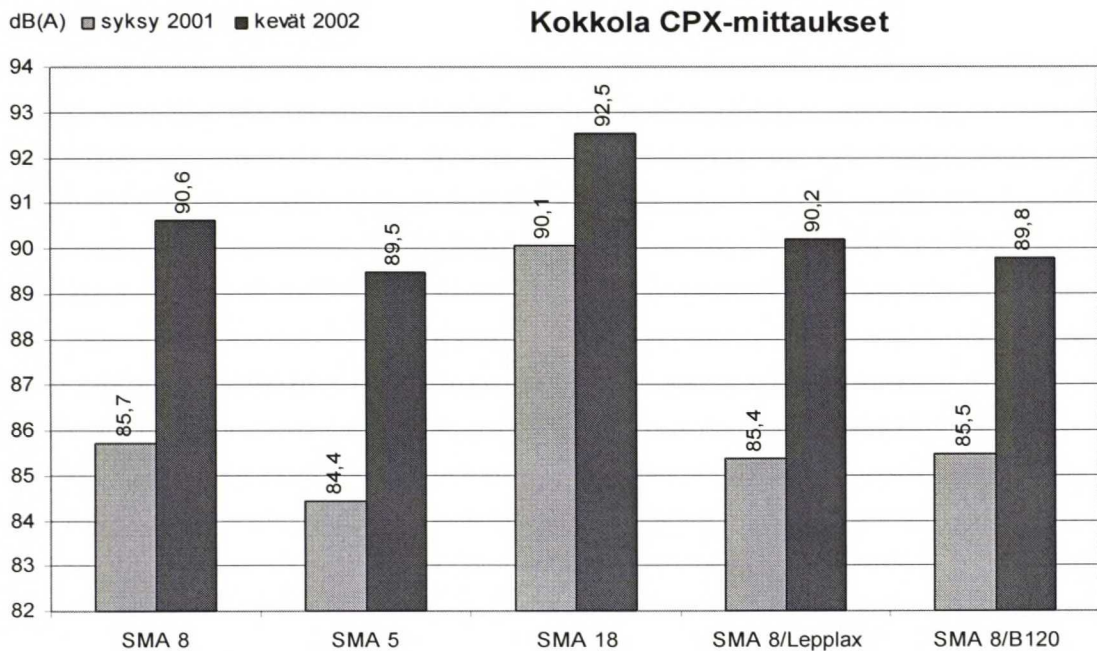
Keskinopeus: 57,9 km/h, nopeuksien keskihajonta: 7,2 km/h, otos: 116 ajoneuvoa

Pohjoisesta:

Keskinopeus: 58,0 km/h, nopeuksien keskihajonta: 8,0 km/h, otos: 121 ajoneuvoa

Kokkolan pohjoisen ohikulkutien koeosuuksien meluominaisuuksien mittaus aloitettiin 8.8.2001 suoritetuilla CPX-mittauksilla. Sää oli mittausten aikana suotuisa lämpötilan ollessa 14–15 °C. Mittaukset toistettiin 6.5.2002. Tällöin lämpötila oli 13°C. Mittauksissa käytettiin referenssirengasta ASTM slick. Mittauksista vastasi Teknillisen korkeakoulun autotekniikan laboratorio. /41/

Ensimmäiset tulokset (kuva 63) osoittivat Kokkolan pohjoisen ohikulkutien koepäällysteiden olevan CPX-menetelmällä mitattuina parhaimmillaan noin kuusi desibeliä referenssipäällystettä SMA 18 hiljaisempia. Kaikki hiljaiset koepäällysteet olivat selvästi referenssipäällystettä hiljaisempia. Toisaalta tuloksista voidaan havaita, ettei heikommalla kiviaineksella tai pehmeämmällä sideaineella ole havaittavaa vaikutusta päällysteen meluominaisuuksiin. Vastaavasti, kuten Meripellontiellä ja Kaarinatiellä, koepäällysteiden rengasmelutasot nousivat yhden nastarengaskauden jälkeen varsin selvästi. Ero referenssipäällysteeseen oli talven jälkeen suurimmillaankin vain kolme desibeliä.



Kuva 63. Kokkola; CPX-mittausten tulokset, *Leq* /41/

Kokkolan pohjoisella ohikulkutiellä mitattiin päällysteiden melutasoa myös tilastollisen ohiajon menetelmällä. Nämä SPB-mittaukset suoritettiin 28.-29.8.2001. Mittauspaikkana Kokkolan pohjoinen ohikulkutie on erinomainen, kuten edellä on todettu. /38/

Kokkolan pohjoisen ohikulkutien osalta ero referenssipäällysteeseen SMA 18 nähden SPB-metelmällä mitattuina on pienimmillään yksi desibeli ja suurimmillaan noin 2,5 desibeliä (taulukko 26). Meripellontiehen ja Kaarinatiehen verrattuna erot ovat varsin pieniä. Päällysteiden kulumisen koetien osuuksia SMA 8/Lepplax, SMA 8/B120 ei mitattu tilastollisella ohiajomenetelmällä.

Taulukko 26. Kokkola; SPB-mittausten tulokset, LA, max /38/

SPB	(dB)	Melun aleneminen (dB)
SMA 5	70,2	2,3
SMA 8	71,5	1
SMA 18 (ref)	72,5	-

Meluominaisuuksien lisäksi Kokkolassa on tutkittu laser-profilometrillä päällysteiden urautumista ja etenkin nastarengaskulumista. Mittauksia Kokkolan pohjoisella ohikulkutiellä on suoritettu tähän mennessä syksyllä 2001 ja keväällä 2002 seuraavina ajan-kohtina: 28.8.2001 ja 20.5.2002. /13/

Urautumista tarkasteltiin ainoastaan päällysteiden kulumisen koetiellä (kuva 60). Tulokset osoittavat koepäällysteiden kuluneen kokonaisuudessaan melko vähän. Tauluk-
koon 27 on koottu todelliset urasyvyyden muutokset ja taulukossa 28 niitä on korjattu
suhteessa liikennemääriin. Kuvassa 64 on esitetty Kokkolan pohjoisen ohikulkutien lii-
kennemääriin suhteutetut nastarengaskulumat graafisesti.

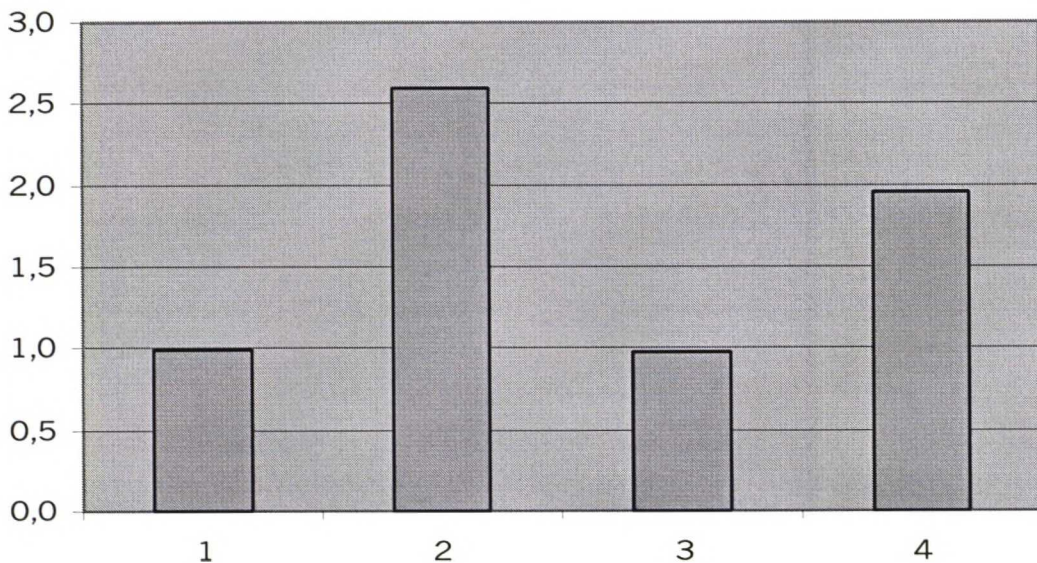
Taulukko 27. Kokkola; korjaamattomat, todelliset urasyvyydet /13/

KOKKOLA: korjaamattomat, todelliset tulokset							
Osuus	KVL		Kokonaisurasyvyydet, ka (mm)			Urasyvyyden muutokset, ka (mm)	
	kevyt	raskas	kesä 01	syksy 01	kevät 01	kesä 01-syksy 01	syksy 01-kevät 02
1	1891	153	ei mitattu	4,4	5,4	4,4	1,0
2	1891	153		2,1	4,7	2,1	2,6
3	1779	139		2,1	3,0	2,1	0,9
4	1779	139	ei	2,1	3,9	2,1	1,8

Taulukko 28. Kokkola; liikennemääräkorjatut nastarengaskulumiset /13/

KOKKOLA: nastarengaskuluminen korjattu liikennemäärien suhteen (KVL kevyt)			
Osuus	Liikennemäärän korjauskerroin	Urasyvyyden muutokset, ka (mm)	
		tuote	syksy 01-kevät 02
1	1,00	SMA 8 Hopiokallio	1,0
2	1,00	SMA 8 Lepplax	2,6
3	0,94	SMA 8 B 80	1,0
4	0,94	SMA 8 B 120	2,0

Kokkolan liikennemääriin suhteutetut
nastarengaskulumat (mm)
syksy 2001 - kevät 2002



Kuva 64. Kokkola; liikennemääriin suhteutetut nastarengaskulumat (mm) /13/

Osana kulumistutkimusta porattiin Kokkolan pohjoiselta ohikulkutieltä Ø100 mm koekappaleita Prall-kokeita varten (950 kierrosta minuutissa, vesikierto 2 litraa minuutissa, lämpötila +5°C) /19/

Tarkasteltaessa Prall-kokeissa saatuja tuloksia (taulukko 29) ja todellista tiekulumaa keskenään havaitaan, ettei heikomman kiven ja pehmeämmän sideaineen vaikutus näy Prall-kokeen tuloksissa. Todellisen tiekuluman osalta ne erottuvat selvästi. Toisaalta kuluminen on ollut yhden talven aikana Kokkolan pohjoisen ohikulkutien melko vähäisillä liikennemäärillä (<2000 ajon./vrk/kaista) varsin vähäistä. Pidemmälle menevien päätelmien teko on vielä tässä vaiheessa ennenaikaista. /19/

Taulukko 29. Kokkola; koekappaleista tehtyjen Prall-kokeiden tulokset /19/

Koeosuus nro	Päällyste	Prall-arvo (keskiarvo, cm ³)	ehjät ajetut kappaleet (kpl, tulokset laskettu näistä)	Rikkoutuneet (kpl)
1	B 70/100 Hopiokallio	48,3	8	-
2	B 70/100 Lepplax	48,0	5	1 ¹⁾
3	B 100/150 Hopiokallio	44,2	6	-

1) kappale ei varsinaisesti rikkoutunut vaan purkautui: tulosta (80,7 cm³) ei otettu mukaan keskiarvotulokseen

Kokkolan pohjoisella ohikulkutiellä tutkittiin myös tieliikennemelun leviämistä. Tutkimuksen tarkoituksena on pyrkiä liittämään *hiljainen päällyste* -työkalu pohjoismaiseen tieliikennemelun laskentamalliin. Työkalun puute on aiemmin ”pakottanut” suunnittelijat turvautumaan melusuojarakenteisiin paikoissa, joissa tieliikenteen melutaso on edellyttänyt toimenpiteitä. Melun leviämistä tutkittiin Kokkolassa tätä tarkoitusta varten rakennetulla koetiellä, joka koostui noin 500 metrin mittaisista SMA 5 -, SMA 8 - ja SMA 18 -koeosuuksista. Mittauksista vastasi Suomen Akustiikkakeskus. Käytännössä kohteessa mitattiin tieliikenteen ekvivalenttimelutasoa useassa pisteessä kiinteän referenssipisteen ollessa aina samassa paikassa. Kunkin päällysteosuuden keskikohdalla olevalta linjalta määritettiin tien itäpuolelta kolmelta etäisyydeltä pisteet, joita kierrettiin järjestyksessä sään pysyessä muuttumattomana. Pisteiden etäisyydet tien keskilinjasta olivat 10, 20 ja 40 metriä. Kiinteä referenssipiste sijaitsi 10 metrin etäisyydellä tien keskilinjasta. Kunkin mittausjakson liikennemäärät laskettiin. Lopuksi mittauspisteissä määritetyt melutasot korjattiin käyttäen referenssipisteessä määritettyjä melutasoja. Näin toimien pyrittiin eliminoimaan liikenteen melutason vaikutus tuloksiin ja varmistamaan tulosten vertailukelpoisuus. Lisäksi mittausdatasta poistettiin poikkeavien melulähteiden, esimerkiksi moottoripyörien aiheuttamat korkeammat tulokset. /19/

Tuloksia (kuva 65) tarkasteltaessa havaitaan eräs mielenkiintoinen seikka. Kaikilla etäisyyksillä hiljaisiin päällyste on nimittäin SMA 8. Eri etäisyyksillä määritettyjen melutasojen keskiarvo on SMA 8 -osuudella 7,0 dB(A) ja SMA 5 -osuudella 4,2 dB(A) vertailuosuutta SMA 18 pienempi. Tulos on etukäteisarvioihin nähden varsin yllättävä. Saatiinhan CPX-mittauksissa SMA 5 - ja SMA 8 -osuuksien välille uutena 1,3 desibelin ja ensimmäisen talven jälkeen 1,1 desibelin ero SMA 5 -osuuden hyväksi. Myös SPB-mittauksissa SMA 5 -osuus oli 1,3 desibeliä hiljaisempi. Kuten edellä on todettu, melun leviämismittauksissa eri pisteissä mitatut tulokset on korjattu käyttäen referenssipisteen tuloksia. Näin ei poikkeavien melulähteiden ja liikennemäärissä tapahtuneiden muutosten pitäisi vaikuttaa tuloksiin.

A-painotetut oikaistut tasot:

	lähi	keski 1	keski 2	kauko	ka
SMA8	61.6	54.6	56.8	49.9	55.7
SMA5	62.7	59.0	59.0	53.8	58.6
SMA18	66.2	63.5	62.5	58.9	62.8
ka	63.5	59.0	59.4	54.2	

Päällystekohtaiset erotukset:

	lähi	keski 1	keski 2	kauko	ka
SMA8	-4.6	-8.9	-5.6	-9.0	-7.0 dB
SMA5	-3.6	-4.5	-3.5	-5.1	-4.2 dB
SMA18	0	0	0	0	0 dB

Etäisyysvaimeneminen:

dB/2x etäisyys

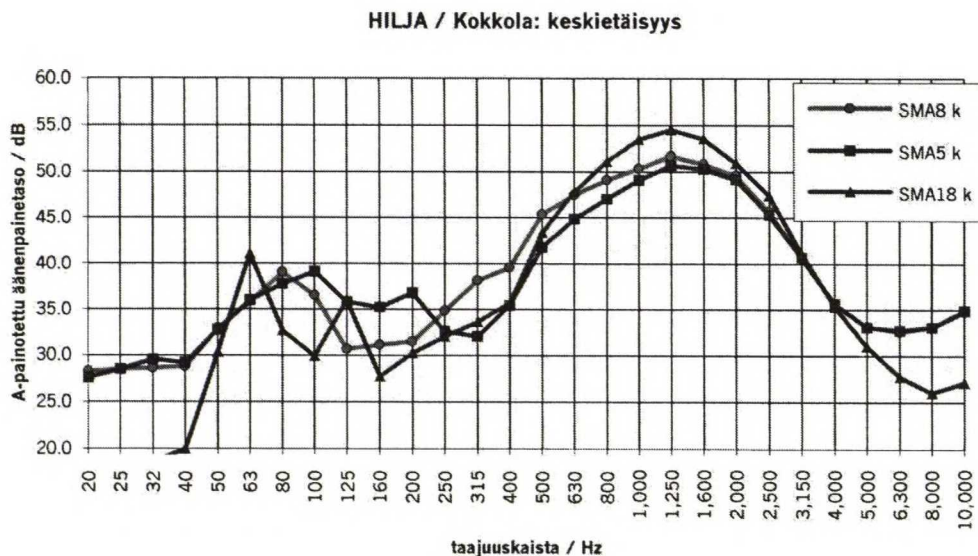
	lähi	keski 1	keski 2	kauko
SMA8	0	-7.0	-4.8	-5.9
SMA5	0	-3.7	-3.7	-5.2
SMA18	0	-2.7	-3.8	-4.1
ka	0	-4.5	-4.1	-5.2

Mittausjärjestys:

	lähi	keski 1	keski 2	kauko
SMA8	5	1	10	9
SMA5	6	2	11	7
SMA18	4	3	12	8

Kuva 65. Melun leviämismittausten tulokset /19/

Yksi selitys tuloksille on mahdollisesti tie-rengas -kosketuksessa syntyvän melun erilaiset taajuusspektrit (kuva 66) osuuksilla ja eritaajuisten äänten erilainen vaimeneminen etäisyyden kasvaessa. Toisaalta esitettyä taajuusspekttriä tarkastellessa havaitaan SMA 5 - ja SMA 8 -päällysteiden taajuusspektrien eroavan lähinnä taajuusalueella 100-200 Hz. Tällä taajuusalueella äänenpainetasot ovat kuitenkin niin pieniä, ettei se selitä saatuja tuloksia.



Kuva 66. Kokkolan melun leviämiskoeosuuksien taajuusspektrit /19/

Toinen mahdollinen tekijä on osuukien reunaympäristön maastovaimennus. Vaikka osuudet ovat silmämääräisesti tarkasteltuina yhteneviä, voi kasvillisuudella olla merkittäväkin vaikutus. Kasvillisuuden tarkkaa vaikutusta on tässä yhteydessä mahdoton määrittää. Tulokset jäävät siten hieman epävarmoiksi. Joka tapauksessa tulokset ovat jälleen kerran hiljaisten päällysteiden käyttöä ja yleistymistä tukevia, ja tässä suhteessa saadut erot SMA 18 -päällysteeseen nähden jopa yllättävän suuria. /19/

Eräs yleisesti Kokkolan pohjoisen ohikulkutien koeosuuksilla epävarmuutta lisäävä seikka on käytetty REM+ -menetelmä. Paikoitellen lisämäärä on jäänyt joko suunniteltua (40 kg/m^2) pienemmäksi tai tiivistettäessä remix-massa (ilmeisesti AB 20) on sekoittunut lisämääränsä kanssa. Jälkimmäinen vaihtoehto on selitettävissä käytetyllä kalustolla. Remix-massaa levittävissä perässä ei Valtatie Oy:n käyttämässä koneessa ollut tiivistintä, vaan massa jäi varsin löyhäksi ja tiivistyi vasta lisämäärää levittävän toisen perän ja jyrän vaikutuksesta. Kuvassa 67 on esitetty SMA 8 -pintaa kulumiskoetietä. /13/



Kuva 67. Kulumiskoetie, Kokkola; SMA 8 ?! /13/

7.6 TUTKIMUSTULOSTEN TARKASTELU

Hiljaiset päällysteet ovat Suomessa melko uusi asia. Ensimmäiset kokeilut vuosina 1981, 1983, 1992 ja 1996 jäivät varsin vähälle huomiolle. Laajempi kiinnostus hiljaisiin päällysteisiin virisi vasta kansainvälisen TINO-projektin myötä vuonna 1999. Vielä saman vuoden syksyllä rakennettiin Kehä III:lle Tielaitoksen hallinnon tie- ja liikennetekniikan tilaamana kaksi osuutta käsittävä koetie. Arviot koepäällysteiden, SMA 5 ja TINO, huonosta nastarengaskestävyydestä osoittautuivat todeksi ja osuudet olivat ensimmäisen talven jälkeen kuluneet jo lähes puhki.

Kehä III:n SMA 5 - ja TINO-päällysteiden myötä heräsi kiinnostus tutkia laajemmin näiden päällysteiden kulumiskestävyyttä. Niinpä talven 1999-2000 aikana toteutettiin laaja SRK-kokeiden sarja. Tulokset osoittivat edellä mainittujen massojen kulumisen SRK-kokeessa olevan 2...3-kertaa SMA 16 -päällystettä suurempaa. Lisäksi tuloksista voitiin havaita TINO-päällysteen osana käytetyn lecasoran lisäävän kulumista merkittävästi. Huolimatta suuresta kulumisesta niin Kehä III:lla kuin SRK-kokeessa usko SMA 5 -päällysteeseen säilyi ja niinpä siitä tuli eräänlainen hiljaisten päällysteiden perustyyppe. Lecasoran käyttö osana kiviainesta jäi huonon kulumiskestävyyden vuoksi tähän ensimmäiseen kokeiluun. Kaiken kaikkiaan tulokset osoittivat varsin selvästi jo ennakkoon tiedostetun ongelman hiljaisten päällysteiden suuren kulumisnopeuden suhteen. Toisaalta SMA 5- ja TINO-päällysteiltä mitatut rengasmelut olivat uusina noin 8 dB(A) ja vielä vuoden ikäisenäkin 5 dB(A) tavanomaista massaa alhaisemmat. Vuoden ikäisten päällysteiden mittauksiin on kuitenkin voimakkaan kulumisen vuoksi syytä suhtautua varauksella. Joka tapauksessa mitatut rengasmelut olivat erittäin alhaisia. Viimeistään tässä vaiheessa oli selvää, että hiljaisten päällysteiden kohdalla kyse on optimoinnista kulumis- ja meluominaisuuksien suhteen. Usko hiljaisten päällysteiden kulumisominaisuuksien paranemiseen oli kuitenkin olemassa.

Rengasmelu on kuitenkin vain osa tieliikenteen aiheuttamaa melua. Heräsi kysymys siitä kuinka paljon selvästi matalampi rengasmelutaso vaikuttaa tien vierialueiden melutasoon. Niinpä vuosina 2000 ja 2001 toteutettiin Tiehallinnon tie- ja liikennetekniikan tilaamana laaja melumittausten sarja, jossa tieliikenteen ekvivalenttimelutasoa mitattiin 10 ja 30 metrin etäisyydellä tiestä. Tulokset osoittivat uuden hiljaisen päällysteen olevan 10 ja 30 metrin etäisyydellä selvästi (3...4 dB) niin vanhaa asfalttibetonia kuin uutta SMA 16 -päällystettäkkin hiljaisempi. Nastarenkaiden käytön todettiin nostavan melutasoja noin 4 desibeliä. Lisäksi todettiin nastarenkaiden aiheuttaman kulumisen lisäävän melutasoja noin 2 desibeliä. Viimeksi mainittu onkin noussut myöhemässä vaiheessa keskeiseksi hiljaisten päällysteiden ongelmaksi. Jo yhden talven nastarengaskuluminen vaikuttaa varsin voimakkaasti päällysteen meluominaisuuksiin.

Päällysteiden meluominaisuuksien ohella myös kulumisominaisuuksien tutkimista jatkettiin Tiehallinnon tie- ja liikennetekniikan tilauksesta. Kehä I:lle ja Korson Kulomäntielle rakennetut koeosuudet osoittivat SMA 5 -päällysteen kulumisnopeuden olevan

noin 6-kertainen SMA 11 -päälysteeseen verrattuna ja noin 10-kertainen SMA 16 -päälysteeseen verrattuna. Saadut tulokset päätyivät niin Tiehallinnon internet-sivuille kuin Helsingin sanomiinkin. Kirjoitusten johdosta hiljaisten päälysteiden sopivuutta Suomen oloihin ruvettiin epäilemään. Toisaalta Kehä I:n rakentamisen aikana ilmenneet kuituongelmat ja erityisesti Kehä I:n erittäin suuret liikennemäärät antoivat uskoa parempienkin tulosten saavuttamiselle. Sopivassa kohteessa onnistuneesti toteutettu hiljainen päälyste tulisi menestymään selvästi nyt todettua paremmin. Tarvittaisiin vain tuotekehitystyötä ja uusia koekohteita asian perusteelliseen selvittämiseen.

Tarve laajempaan hiljaisten päälysteiden tutkimukseen oli siis olemassa. Niinpä vuonna 2001 alkoi HILJAKsi nimetty projekti, jonka tavoitteena on kehittää hiljaisille päälysteille toiminnalliset laatuvaatimukset ja niiden mittausmenetelmät, joilla urakoitsijat voivat osoittaa tuotteidensa melu- ja kulumisominaisuudet ja rakennuttaja edellyttämänsä laatuvaatimukset. Edelleen tavoitteena on selvittää, miten paljon hiljaisempia hiljaiset päälysteet ovat tavanomaisiin päälysteisiin verrattuna ja se, miten saavutettu melutason lasku otetaan huomioon melunlaskentamalleissa. Lähtökohtana projektin tavoitteisiin pääsemiselle pidettiin useiden kohteiden rakentamista erityyppisiin kohteisiin. Lisäksi tarpeelliseksi koettiin tietämyksen lisäämistä erilaisin kirjallisuusselvityksin. Vuoden 2002 syksyyn mennessä on tutkimussuunnitelman mukaisesti rakennettu kaikki seitsemän koetietä. Tässä työssä niistä käsiteltiin vuonna 2001 rakennetut kolme koetietä; Meripellontie, Kaarintie ja Kokkolan pohjoinen ohikulkutie.

Meripellontielle Helsinkiin rakennettu koetie koostuu 11 koeosuudesta ja yhdestä referenssiosuudesta. Ensimmäiset rengasmelumittaukset (CPX) osoittivat koepäälysteiden olevan rengasmelutasoltaan parhaimmillaan lähes 10 dB(A) referenssipäälystettä SMA 16 hiljaisempia. Jo aiemmissa melumittauksissa havaittu nastarengaskulumisen aiheuttama melutason nousu voitiin havaita selvästi myös Meripellontielle. Yhden talven jälkeen ero referenssipäälysteeseen oli suurimmillaankin enää vain noin 4,5 dB(A). Päälysteiden meluominaisuuksia mitattiin myös tilastollisen ohiajon menetelmällä (SPB). Mittaukset osoittivat eron referenssiin olevan suurimmillaan noin 5 dB(A). Kohde soveltui SPB-mittauksiin melko huonosti. Niinpä tulokset eivät ole osuuksittain täysin vertailukelpoisia. Meripellontielle suoritettiin mittauksia myös CB-menetelmällä sekä ajoneuvon sisältä. Näiden mittausten tulokset ja menetelmien keskinäinen vertailu on jätetty tämän työn ulkopuolelle. Meluominaisuuksien ohella Meripellontielle on tutkittu myös päälysteiden kulumisominaisuuksia. Ensimmäisen talven jälkeisten profiilimittausten tulokset osoittivat varsin suuria vaihteluita eri tuotteiden kulumisnopeuksissa. Pienimmillään ero referenssiin oli alle kaksinkertainen ja suurimmillaan yli kymmenkertainen. Kokonaisuutena hiljaisten päälysteiden kulutuskestävyyden voitiin kuitenkin havaita selvästi parantuneen aiempiin tuloksiin nähden. Profiilimittausten ohella päälysteiden kulumisominaisuuksia tutkittiin laboratoriossa Prall-menetelmällä. Tulokset osoittivat menetelmän soveltuvan varsin huonosti todellisen tiekuluman arviointiin. Avoimet päälysteet eivät kestä Prall-koetta ja toisaalta

on ilmeisesti niin, että kumibitumin käyttö parantaa Prall-kokeen tulosta suhteettomasti.

Kaarinatielle rakennettu koetie koostuu kolmesta koeosuudesta ja kahdesta referenssiosuudesta. Koeosuuksien lukumäärä pieneni alun perin suunnitellusta yhdellä Tieliikelaitoksen toisen koeosuuden epäonnistuttua. Melutuloksiltaan Kaarintie on Meripellontien kanssa varsin samankaltainen. Rengasmelutasot nousivat yhden talven vaikutuksesta varsin selvästi. Uutena ero referenssiin SMA 16 oli suurimmillaan noin 8,5 dB(A) ja nastarengaskauden jälkeen ero oli pienimmilläänkin vain noin kolme desibeliä. Uusille päällysteille suoritettut SPB-mittaukset osoittivat koepäällysteiden olevan suurimmillaan noin kuusi desibeliä referenssipäällystettä SMA 16 hiljaisempia. Kuluminen osalta tulokset olivat varsin yllättäviä. Koepäällysteet kuluivat suurimmillaankin vain noin puolitoistakertaisesti referenssipäällysteeseen SMA 16 verrattuna. Tieliikelaitoksen SMA 6 -päällysteen osalta kulumisen oli jopa selvästi referenssipäällystettä pienempää. Prall-kokeen tulokset osoittivat kokeen ja tien kuluman välisen yhteyden selvästi Meripellontietä paremmaksi. Toisaalta kokeissa oli havaittavissa samankaltaisia kappaleiden ehjänä pysymiseen liittyviä kuin Meripellontietäkin. Kokonaisuutena Kaarintien koetulokset antoivat uskoa hiljaisten päällysteiden kohtuulliseen kulutuskestävyyteen kohteissa, joissa liikennemäärä ei ole kovin suuri. Kaarinatielle vuorokausiliikenteeksi laskettiin noin 4500 ajoneuvoa. Myös Kaarintien osalta eri melunmittausmenetelmillä saatujen tulosten keskinäinen vertailu on jätetty tämän työn ulkopuolelle.

Kokkolan pohjoiselle ohikulkutielle rakennettiin kaksi eri koetietä. Toisen koetien tarkoituksena on tutkia hiljaisten päällysteiden tie-rengas -kosketuksessa syntyvän melun leviämistä. Vastaavasti toinen koetie rakennettiin todellisen tiekuluman ja Prall-kokeen vertailemiseen sisältäen kaksi eri kovuista kiveä ja sideainetta. Näistä ensin mainittua käytettiin myös eri melunmittausmenetelmien vertailuun. Kuten Meripellonteilla ja Kaarintiellä myös Kokkolassa rengasmelutasot nousivat selvästi yhden nastarengaskauden vaikutuksesta. Uutena ero referenssipäällysteeseen SMA 18 oli suurimmillaan vajaat 5 desibeliä. Yhden talven jälkeen ero oli vain 3 desibeliä. SPB-mittauksissa saatiin aiempiin tuloksiin nähden suhteellisen pienet erot siten, että SMA 5 oli 2,3 desibeliä ja SMA 8 yhden desibelin SMA 18 -päällystettä hiljaisempi. Kokkolan osalta on kuitenkin syytä muistaa, että tutkitut päällysteet eivät olleet urakoitsijoiden erikoistuotteita. Kuluminen osalta tutkittiin ainoastaan SMA 8 -päällysteitä eri kovuisin kivin ja sideainein. Kaiken kaikkiaan kulumisen oli pienehköstä liikennemäärästä (<2000 ajon./vrk) johtuen melko vähäistä. Vertailupäällyste kului talvessa yhden millin, heikommalla kivellä 2,6 millia ja pehmeämmällä sideaineella 2,0 millia. Kokkolan osalta Prall-kokeita tehtiin edellä mainituille SMA 8 -päällysteen variaatioille. Tulokset olivat varsin yhteneviä Prall-arvon keskiarvojen vaihdellessa välillä 44,2...48,3 cm³. Tulosten valossa heikommalla kivellä ja pehmeämmällä sideaineella ei näin ollen olisi vaikutusta. Todellinen tiekuluma on niin ikään ollut niin pientä, ettei se anna aihetta pidemmälle menevien päätelmien tekoon. Myöskään melunleviämismittausten

tulokset eivät anna mahdollisuutta päätelmien tekoon. Mittauksiin liittyy epävarmuutta ja saavutettu tulos, jonka mukaan SMA 8 olisi mitatuista päällysteistä hiljaisin, on ristiriidassa muiden melumittausten kanssa. Oman epävarmuutensa Kokkolan tulokseen tuo käytetty REM+ -menetelmä. Paikoitellen remix-massa ($\sim AB\ 20$) hallitsee päällysteen pintastruktuuria (kuva 67), eikä päällyste näin ollen ole ollut suunnitellun kaltainen.

Kokonaisuutena HILJA-projektin koekohteet ovat kuitenkin osoittaneet hiljaisilla päällysteillä saavutettavan etenkin uutena selvästi tavanomaisia päällysteitä pienempi melutaso. Toisaalta nastarengaskulumisen vaikutus melutasoihin on huolestuttavan suuri. Erot referenssipäällysteisiin ovat talven jälkeen olleet vain 3...5 desibelin luokkaa. On kuitenkin muistettava kolmen desibelin eron merkitsevän melutason kaksinkertaistumista, mikä käytännössä tarkoittaa liikennemäärän puolittumista. Tällöin voidaan edelleen perustellusti puhua varsin merkittävästä melutason laskusta.

Yhtenä HILJA-projektin tavoitteena on kehittää hiljaisille päällysteille toiminnalliset laatuvaatimukset ja niiden mittausmenetelmät. Tässä työssä on esitelty erilaisia kulumis- ja meluominaisuuksien mittausmenetelmiä, kokemuksia niiden käytöstä sekä menetelmillä saatuja tuloksia. HILJA-projektin tavoitteiden kannalta oleellisia seikkoja kuten mittausmenetelmien keskinäistä vertailua, mittausten toistettavuutta ja tulosten tarkempaa analysointia ei työn rajauksen vuoksi käsitellä tässä yhteydessä. Myös osa mittautuloksista on jätetty tämän työn ulkopuolelle (Sand patch -, CB- ja sisätilamittaukset). Mittausmenetelmien kannalta ongelmalliseksi näyttävät muodostuvan Prallkokeet. Kokeista saadut tulokset ovat joidenkin päällysteiden osalta suuressa ristiriidassa todellisen tiekuluman suhteen. Toinen menetelmien kannalta oleellinen seikka on pystyä määrittämään paikasta riippumaton, toistettava ja myös menettelyiltään riittävän yksinkertainen rengasmelun mittausmenetelmä.

8 HILJAISTEN PÄÄLLYSTEIDEN TALOUDELLISUUS

8.1 YLEISTÄ

Hiljaisten päällysteiden taloudellisuudesta puhuttaessa keskeiset kysymykset ovat päällysteen suuremmat rakennus- ja kunnossapitokustannukset ja saavutettava melutason lasku. Kuten edellä on useissa yhteyksissä todettu, hiljainen päällyste kuluu nastarenkaiden vaikutuksesta tavanomaisia päällysteitä nopeammin. Toisaalta on osoitettu, että hiljaisilla päällysteillä saavutetaan usein varsin merkittävä rengasmelutason lasku. Käytännössä hiljaisesta päällysteestä tulee tavanomaiseen päällysteeseen verrattuna sitä vartenotettavampi vaihtoehto mitä pienempi on näiden vaihtoehtoisten päällysteiden ero kulumisnopeuden suhteen ja mitä suurempi on niillä saavutettava meluhyöty. Rakennuskustannuksia tarkasteltaessa hiljaisen ja tavanomaisen päällystetyypin ero ei ole kovin suuri. Perinteisen hiljaisen päällysteen (SMA 6) neliöhinnat verrattuna tavanomaiseen (SMA 16) päällysteeseen ovat noin 10-20 prosenttia suurempia. Tässä yhteydessä on toki syytä huomata neliöhintojen perustuvan tyypillisiin massamääriin, jotka hiljaisista päällysteistä puhuttaessa ovat yleensä noin 60 kg/m² ja tavanomaista päällysteistä puhuttaessa noin 100 kg/m², ja siten ero tonnihinnoissa on noin kaksinkertainen. Erikoistuotteiden ja kaksikerrosrakenteiden hinnat ovat vielä jonkin verran SMA 6 -päällysteen hintaa korkeampia.

Rakennuskustannuksia suuremman eron päällysteiden elinkaarikustannuksiin muodostavat kuitenkin hiljaisen päällysteen nopeamman kulumisen vuoksi nousevat kunnossapitokustannukset. Toisaalta hiljaiset päällysteet ovat Suomessa vielä niin uusi asia, ettei todellista hiljaisten päällysteiden kunnossapidon aiheuttamaa kustannusten kasvua voida vielä tarkasti arvioida. Kuten edellä on todettu, on toinen merkittävä seikka hiljaisilla päällysteillä saavutettava rengasmelun väheneminen, ja sitä kautta koko tieliikenteen melutason lasku. Suomessa melun yhteiskuntataloudelliseen arvottamiseen on käytössä tietty, altistujaa kohden määritetty vuosikustannus. Toisin kuin esimerkiksi Ruotsissa, Suomessa taulukko on "yksiportainen" rajan kulkiessa 55 dB(A) ekvivalenttimelutason kohdalla. Käytännön laskelmissa onkin niin, että yhden desibelin lasku ekvivalenttimelutasossa voi vaikuttaa varsin merkittävästi arvioitaviin ympäristökustannuksiin. Kuten seuraavan kappaleen kahdesta esimerkistä voidaan havaita, vaikuttaa saavutettava melutason lasku yhteiskuntataloudellisesti merkittävästi vaihtoehtojen kokonaiskustannuksiin. Vaikutus on niin merkittävä, että tuhansien tie- ja katukilometrien päällystäminen hiljaisella päällysteellä voitaisiin osoittaa yhteiskuntataloudellisesti kannattavaksi. Pitäisi vain löytää maksaja. Toisaalta, vaikka laskelmilla ei voitaisikaan osoittaa saavutettavaa yhteiskuntataloudellista kannattavuutta, on jokainen melutasoa alentava desimaalin kymmenyskin askel kohti parempaa elinympäristöä. Näin erityisesti tieliikennemelun todellisilla ongelma-alueilla, joilla 55 dB(A) ekvivalenttimelutason saavuttaminen on hyväksyttävä käytännössä mahdottomaksi.

8.2 KUSTANNUSVERTAILUJA

Hiljaisten päällysteiden kustannusvertailuista esimerkkeinä käsitellään Viljo Seppäsen vuoden 2000 asfalttialan palautepäiville laatimaa vertailua: *Hiljainen päällyste SMA 6 vai kestävä päällyste SMA 16*, ja vastaavan kaltaista ruotsalaisessa tutkimuksessa esitettyä laskelmaa. /31,49/

Täydellisten elinkaarikustannusten laskennassa eri vaihtoehtojen välillä tulisi ottaa huomioon investointikustannukset, vuosittaiset kunnossapitokustannukset, muutokset tienkäyttäjien kustannuksissa ja ympäristövaikutukset tarkastelujakson aikana. Tässä esimerkissä keskitytään investointi- ja kunnossapitokustannusten tarkastelemiseen. Tienkäyttäjiin kohdistuvat ajokustannukset (ajoneuvo-, aika- ja onnettomuuskustannukset) on esimerkkien yksinkertaistamiseksi jätetty laskennan ulkopuolelle. On varsin perusteltua olettaa päällystetyypin vaikutuksen ajokustannuksiin olevan varsin pieni. Hiljaisten päällysteiden kitkaominaisuudet ovat osoittautuneet niin hyviksi, ettei niillä voida olettaa olevan heikentävää vaikutusta liikenneturvallisuuteen. Ajoneuvokustannusten voisi ajatella lähinnä pienenevän renkaan kulumisen vähentyessä. Aikakustannuksiin hiljaisten päällysteiden nopeamman kulumisen aiheuttama tiheämpi päällysteen uusiminen aiheuttaa ainakin periaatteessa lisän. Toisaalta päällystystöiden sijoittuminen yöaikaan tekee tästäkin vaikutuksesta varsin pienen. Toisin kuin edellä esitettyihin ajokustannuksiin, ympäristökustannuksiin hiljaisella päällysteellä on varsin suuri vaikutus. Pakokaasupäästöjen kustannukset voidaan tässä jättää huomiotta, sillä niihin päällystetyypillä on tuskin minkäänlaisia vaikutuksia. Hiljaisten päällysteiden elinkaarikustannuksia arvioitaessa ympäristökustannuksista merkittävimpiä ovat melukustannukset. *Tieliikenteen ajokustannukset 2000* mukaan yhden yli 55 dB(A) melulle altistuvan asukkaan yhteiskuntataloudellinen kustannus on 5 700 markkaa vuodessa. Seppäsen kustannusvertailussa on laskennan yksinkertaistamiseksi myös melukustannukset jätetty pois. Melukustannusten mukaan ottaminen olisi edellyttänyt tieliikenteen melualueiden ja niillä asuvien ihmisten lukumäärän selvittämistä. Laskentaa tarkasteltaessa on melukustannukset kuitenkin hyvä pitää mielessä. Käytännössä melukustannusten mukaan ottaminen pienentäisi esimerkkipäällysteiden laskenta-ajan kustannuseroa. Yleisesti tarkastelujakson pituus pitää valita realistisesti, jotta eri toimenpiteiden kustannukset saadaan vertailukelpoisesti mukaan. Laskennassa eri vuosina koituvat kustannukset diskontataan nykyarvoon ja lasketaan eri vaihtoehtojen diskontatut vuosikustannukset yhteen. Tässä esimerkissä diskonttaustekijä on laskettu käyttäen kauden prosentin laskentakorkoa. /49,53/

Laskentaesimerkki: vt 3 Haaga – Kaivoksela, KVL 40 000

Vaihtoehto 1: SMA 16 (kestävä päällyste)

Vuosi	Toimenpidetyyppi	Kustannus mk/km	Nykyarvo mk/km
0	SMA 16/90/LTA/LJYR kaistat 1 ja 2	250 000	250 000
5	SMA 16/90/REM/RC20 kaista 1	80 000	60 000
10	SMA 16/90/REM/RC20 kaista 2	80 000	45 000
15	HJYR kaistat 1 ja 2	30 000	12 600
Kokonaiskustannusten nykyarvo mk/km			367 600

Vaihtoehto 2: SMA 6 (hiljainen päällyste)

Vuosi	Toimenpidetyyppi	Kustannus mk/km	Nykyarvo mk/km
0	SMA 6/70/LTA/LJYR kaistat 1 ja 2	220 000	220 000
2	SMA 6/70/REM/RC20 kaista 1	80 000	71 200
4	SMA 6/70/REM/RC20 kaista 2	80 000	63 200
4	SMA 6/70/LTA/LJYR kaista 1	110 000	86 900
6	SMA 6/70/REM/RC20 kaista 1	80 000	56 000
8	SMA 6/70/LTA/LJYR kaistat 1 ja 2	220 000	138 600
10	SMA 6/70/REM/RC20 kaista 1	80 000	44 800
12	SMA 6/70/LTA/LJYR kaista 1	110 000	55 000
12	SMA 6/70/REM/RC20 kaista 2	80 000	40 000
14	SMA 6/70/REM/RC20 kaista 1	80 000	35 200
16	SMA 6/70/LTA/LJYR kaistat 1 ja 2	110 000	46 200
Kokonaiskustannusten nykyarvo mk/km			857 100

Esimerkin perusteella hiljainen päällyste tulee 15 vuoden laskennalliselta hinnaltaan noin 2,3-kertaiseksi. Kustannusero on siten varsin merkittävä. Nykyarvojen erotus 489 500 markkaa uhrataan siis asukkaiden viihtyisyyden parantamiseen. Yhden yli 55 dB(A) melulle altistuvan asukkaan yhteiskuntataloudelliseksi kustannuksiksi todettiin aiemmin 5 700 markkaa vuodessa ja näin 15 vuoden ”melukustannusten” nykyarvoksi saadaan noin 60 000 markkaa yhtä mainitulle melulle altistuvaa asukasta kohti. Hiljainen SMA 6 -päällyste tulee siis yhteiskuntataloudellisesti kannattavaksi, jos sillä saadaan laskettua yli 55 dB(A) melulle altistuvien asukkaiden lukumäärää yhdeksällä asukkaalla. Tämä edellyttää tietysti, ettei SMA 16 -päällysteellä saavuteta melulle altistuvien asukkaiden lukumäärän laskua. Käytännössä laskennan kulku olisi huomattavasti monimutkaisempi. Tärkeää on kuitenkin huomata, miten haitalliseksi tieliikenteen aiheuttama melu arvioidaan. Lisäksi on hyvä muistaa meluhaittojen olevan yhteiskuntataloudellisia kustannuksia, joiden maksajaa on usein vaikea löytää.

Toinen käsiteltävä esimerkki on ruotsalaisesta tutkimuksesta. /31/ Kyseisessä esimerkissä ei yksinkertaisuuden vuoksi ole diskontattu kustannuksia nykyhetkeen. Tarkasteltava kohde on 1 kilometrin mittainen katu tiiviisti rakennetulla alueella. Nopeusrajoitus kadulla on 50 km/h, keskimääräinen vuorokausiliikenne 9000 ja raskaiden ajoneuvojen osuus 5 prosenttia. Kadun leveys on 9 metriä. Tarkasteluun on otettu seuraavat vaihtoehdot:

1. normaali päällystys ABS 16 (referenssi)
2. ABS 8, uutena 3 dB(A) ja vuoden ikäisenä 2 dB(A) referenssiä hiljaisempi
3. Duradrän, uutena 5 dB(A) ja vuoden ikäisenä 4 dB(A) referenssiä hiljaisempi
4. meluseinän rakentaminen molemmin puolin tietä, vaikutus 7 dB(A)

Laskenta-aikana käytetään 20 vuotta. Päällysteet oletetaan uusittavan seuraavasti:

- ABS 16 seitsemän vuoden välein, hinta 40 kr/m²
- ABS 8 viiden vuoden välein, hinta 35 kr/m²
- Duradrän 3 vuoden välein, hinta 60 kr/m²

Meluseinä maksaa tien molemmille puolille rakennettuna 10 000 kr/m. Meluseinärakenteen kestoikäksi arvioidaan 20 vuotta.

Pohjoismaisen tieliikenteen melunlaskentamallin perusteella alueen ihmiset altistuvat melulle tarkasteluvaihtoehdoittain ensimmäisenä vuonna seuraavasti:

1. 250 ihmistä altistuu 62 dB(A) melulle ja 250 ihmistä 58 dB(A) melulle
2. 250 ihmistä altistuu 59 dB(A) melulle ja 250 ihmistä 55 dB(A) melulle
3. 250 ihmistä altistuu 57 dB(A) melulle ja 250 ihmistä 53 dB(A) melulle
4. 250 ihmistä altistuu 55 dB(A) melulle ja 250 ihmistä 51 dB(A) melulle

Päällystettävä alue on kooltaan 9000 m². Päällystyskustannukset 20 vuoden aikana eri vaihtoehdoissa ovat uudelleenpäällystys mukaan lukien seuraavat:

1. 1,08 milj.kr
2. 1,26 milj.kr
3. 3,78 milj.kr
4. 11,08 milj.kr

Melukustannukset on laskettu SIKa 1999 raportin mukaisesti, käyttäen eri melutasoille määritettyjä vuosihintoja altistujaa kohden. Esimerkiksi 62 dB(A) melulle altistumisen kustannuksiksi on määritetty 1870 kr/vuosi/altistuja ja vastaavasti 51 dB(A) melulle altistumisen kustannuksiksi 130 kr/vuosi/altistuja.

Melukustannuksiksi eri vaihtoehtoille saadaan:

1. 15,1 milj.kr/20 vuotta
2. 11,4 milj.kr/20 vuotta
3. 7,9 milj.kr/20 vuotta
4. 4,1 milj.kr/20 vuotta

Laskemalla yhteen sekä rakennus- että melukustannukset saadaan eri vaihtoehtoille seuraavat kokonaiskustannukset 20 vuoden laskenta-ajalle:

1. 16,2 milj.kruunua
2. 12,7 milj.kruunua
3. 11,7 milj.kruunua
4. 15,2 milj.kruunua

Kyseinen esimerkki osoittaa hiljaisten päällysteiden taloudellisuuden yhteiskunnalliselta kannalta. Rakennuskustannukset ovat siis tässä esimerkissä suurimmillaankin vain noin puolet laskennallisista melukustannuksista. Esimerkin valossa myös meluaidan rakentaminen tien molemmille puolille on yhteiskuntataloudellisesti kannattavaa. Edelleen on kuitenkin syytä muistaa "haluttomuus" maksaa yhteiskuntataloudellisia kustannuksia.

8.3 VAIHTOEHTOISET MELUNTORJUNTARATKAISUT

Tieliikenne on monin paikoin merkittävin ympäristömelun aiheuttaja. Liikenteen aiheuttamaan meluun on ruvettu kiinnittämään yhä enemmän huomiota etsien samalla uusia ja entistä tehokkaampia keinoja meluhaittojen vähentämiseksi. Aiemmin vallitsevana olleen melusuojauksen, joka usein on tehtyjen ratkaisujen korjaamista, ohella on pyritty enenevässä määrin vaikuttamaan itse melulähteeseen. Tässä työssä käsiteltävät hiljaiset päällysteet ovat oiva esimerkki tästä suuntauksesta. Tieliikenteestä puhuttaessa muita melulähteeseen vaikuttavia seikkoja ovat ajoneuvo- ja rengasteknologia. Näistä melun lähteeseen vaikuttavista keinoista hiljaisia päällysteitä on pidetty saavutettavan meluhyödyn suhteen lupaavimpina, ajoneuvokannan melko hitaan uusiutumisen heikentäessä ajoneuvo- ja rengasteknologian vaikutusmahdollisuuksia. Toisaalta hiljaisilla päällysteillä saavutettava melutason lasku on monin paikoin riittämätön, eikä hiljaisilla päällysteillä voida ajatella korvattavan muita meluntorjuntaratkaisuja. Hiljaisten päällysteiden käyttö on perusteltua: /54/

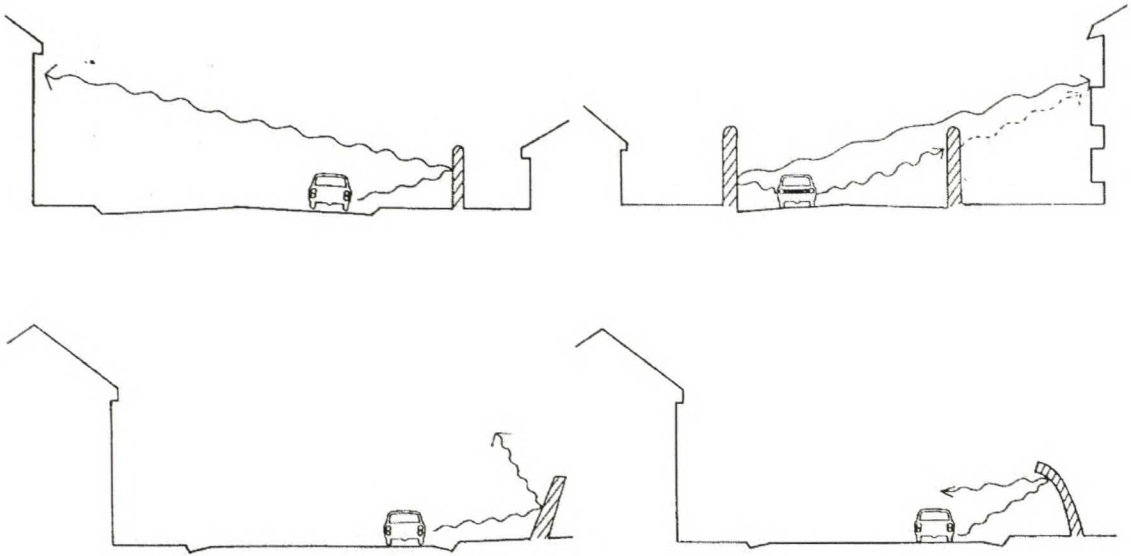
- kohteissa, joihin meluestettä ei tilan puutteen tai muiden syiden vuoksi voida rakentaa
- kerrostaloalueilla, joissa ylimpien kerrosten melutasoon ei melusteilla voida vaikuttaa

- kohteissa, joissa pelkillä melusteilla ei saavuteta riittävää melutason laskua
- kohteissa, joissa hiljaisilla päällysteillä saavutetaan riittävän alhainen melutaso
- ensimmäisenä melun torjunnan keinona ja yleisesti melutason laskuun

Yleisesti tieliikennemelun torjuntakeinot jaetaan seuraaviin ryhmiin: /54/

1. **melulähteen vaimentaminen**, esimerkiksi melupäästön vähentäminen hiljaisin päällystein tai rajoittamalla melulähteen toimintaa ajokielloin
2. **maankäytön suunnittelu**, esimerkiksi liikenneväylien sijoittaminen melulle herkkien alueiden ulkopuolelle
3. **liikennesuunnittelun keinot**, esimerkiksi liikenteen keskittäminen, nopeusrajoitusten alentaminen, ajoneuvokoostumukseen vaikuttaminen rajoituksin, ajotapaan vaikuttaminen
4. **tiensuunnittelun keinot**, esimerkiksi tasaamalla tielinja ympäröivän maaston alapuolelle, liittymien suunnittelu (ramppien käyttäminen meluvalleina), tien kaarevuuden suunnittelu, päällystetyypin valinta
5. **melueterakenteet**, esimerkiksi meluseinät ja -vallit
6. **toimenpiteet rakennuksissa**, esimerkiksi äänieristykset, pohjaratkaisut ja käyttötarkoitus

Tässä yhteydessä tarkastellaan vain hiljaisten päällysteiden suhteen vaihtoehtoisia meluntorjuntaratkaisuja. Käytännössä tarkastelu rajoittuu koskemaan melueterakenteita; meluseiniä (-aitoja), -kaiteita, -valleja. Melueterakenteissa äänen vaimeneminen perustuu ääniaaltojen kulkutiellä olevaan esteeseen. Saavutettavaan vaimennukseen vaikuttavat äänen taajuus, esteen mitat ja äänen suuri taituntakulma. Viimeksi mainitusta seuraa, että melusteiden tulisi olla tarpeeksi pitkiä ja korkeita. Osa melusta läpäisee esteen. Läpäisevän äänen tulisi olla kuitenkin melutasoltaan niin alhainen, ettei se ole häiritsevää. Kuvassa 68 on esitetty melusteiden muodon ja sijainnin kannalta huomionarvoisia seikkoja: /54/



Kuva 68. Meluesteen heijastusvaikutus /54/

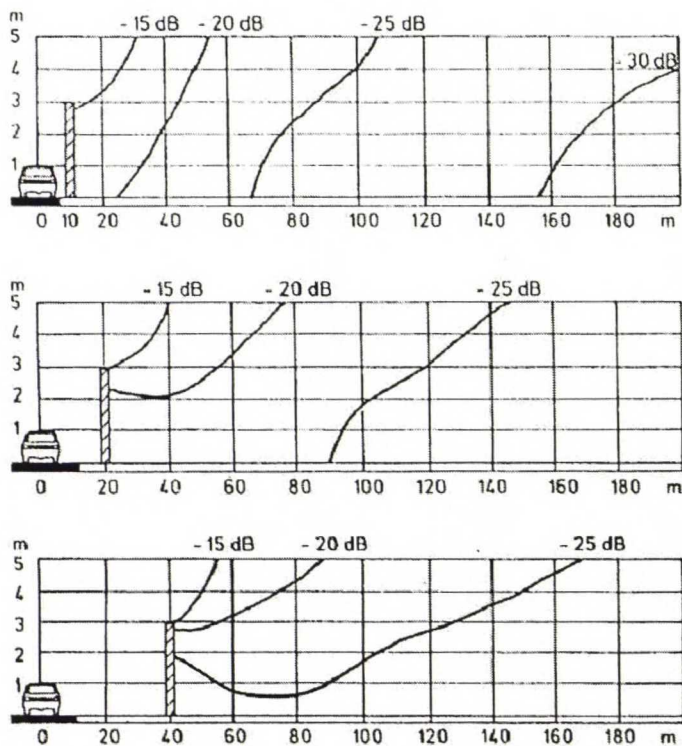
Edellä esitetystä kuvasarjasta voidaan havaita seuraavia seikkoja:

1. melueste voi heijastusvaikutuksen vuoksi lisätä melua asuinympäristössä
2. toisesta meluesteestä heijastunut ääni voi ylittää esteen
3. vino este heijastaa ääntä ylöspäin, jolloin heijastuksen merkitys on pieni
4. kaaren muotoinen melueste heijastaa äänen takaisin ajoradalle

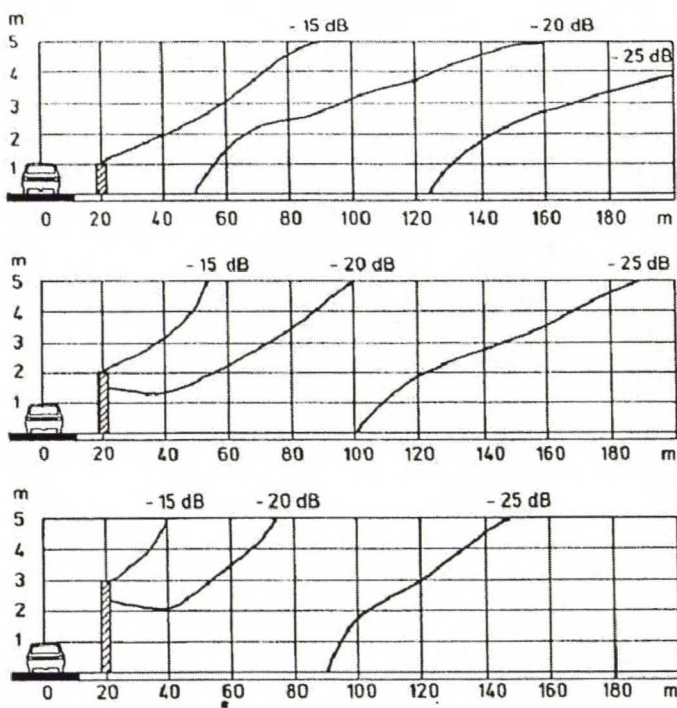
Meluesteet jaetaan toimintaperiaatteensa perusteella ääntä heijastaviin ja ääntä absorboiviin eli imeviin esteisiin. Heijastava este lisää melutasoa äänilähteen puolella. Toisaalta muista kohteista tapahtuvien heijastusten vuoksi heijastunut ääni voi lisätä melutasoa myös esteen takana. Meluesteen rakenteen muuttaminen absorboivaksi parantaa vaimennusta 1-5 dB. /54/

Kuvissa 69-71 on esitetty esimerkkejä meluesteen sijainnin, korkeuden sekä muodon ja paksuuden vaikutuksesta esteen vaimennustehoon.

Esteen sijoittaminen mahdollisimman lähelle melulähdettä parantaa sen vaimennustehoa. Vastaavasti melueste vaimentaa melutasoa, vaikka äänilähde näkyisikin tarkastelupisteeseen. Meluvalleihin nähden meluseinä voidaan rakentaa matalampana, koska se voidaan sijoittaa lähemmäksi melulähdettä. Toimiakseen kohtuullisesti meluesteen tulisi ulottua 0,5-1,0 metriä näkölinjan yläpuolelle. /54/

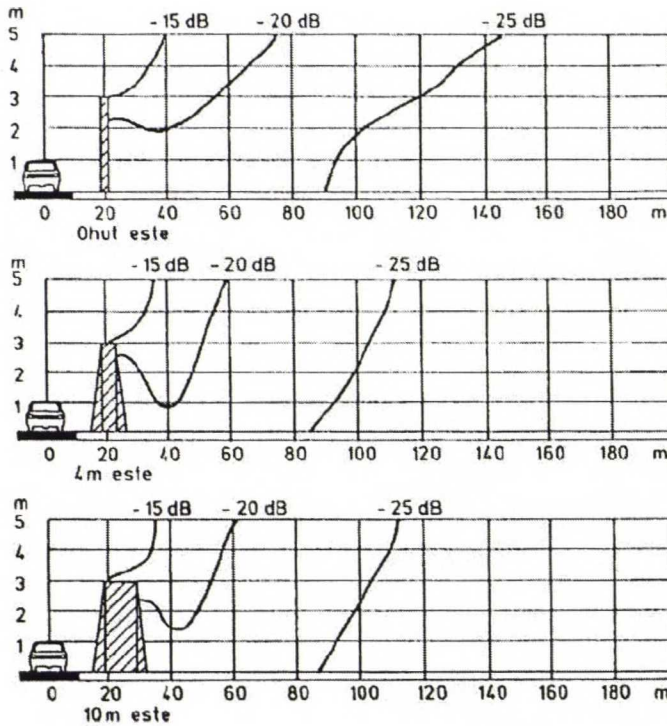


Kuva 69. Meluesteen sijainnin vaikutus vaimennustehoon /54/



Kuva 70. Meluesteen korkeuden vaikutus vaimennustehoon /54/

Esteen muoto ja paksuus



Kuva 71. Meluesteen muodon ja paksuuden vaikutus vaimennustehoon /54/

Edellä esitettyjen seikkojen lisäksi meluesteen vaimennustehoon vaikuttavat luonnollisesti esteen pituus, aukot esteessä sekä esteen päiden muotoilu. /54/

Meluseinä voidaan rakentaa betonista, tiilistä, puusta, teräksestä, läpinäkyvistä materiaaleista (polykarbonaatista tai akryylistä) tai niiden yhdistelmistä. Normaalisti rakenteet ovat 2...4 metriä korkeita, mutta myös selvästi korkeampiakin rakenteita käytetään. Ääntä absorboivissa rakenteissa käytetään raskasta lasi- tai vuorivillaa, jotka suojataan reikälevyin tai säleiköin. Rakenteellisesti meluseinän tulee kestää vaadittava tuulikuorma, aerauskuorma, iskut sekä rakenteen oma että veden ja lumen paino. Materiaalien on oltava ympäristöystävällisiä, ja niiden käytön jälkeiselle sijoitukselle tulee olla suunnitelma. Normaali kestoikävaatimus esterakenteille on 30 vuotta. Absorboiville elementeille vaatimus on kuitenkin lievempi, yleensä 15 vuotta. /55,56/

Joissain tapauksissa on mahdollista käyttää normaalia meluseinää selvästi matalampaa melukaidetta, korkeudeltaan 0,8...1,2 metriä. Melukaiteiden käytölle soveliaita kohteita ovat sillat ja korkeat penkereet, joissa melulta suojattava kohde on yleensä tien alapuolella. Melukaiteilla saavutetaan meluseiniin nähden muutamia etuja. Melukaide ei rajoita näkymiä samalla tavalla kuin meluseinä. Törmäysturvallinen melukaide voidaan sijoittaa aivan tien viereen, jolloin sen vaimennusteho on kauemmas luiskaan sijoitetun meluidan veroinen. Lisäksi melukaide ei ole teiden talvihoidon kannalta yhtä ongelmallinen kuin korkeammat meluesterakenteet. /54/

Edellä esitettyjen seinä-, ja kaiderakenteiden lisäksi melueterakenteisiin kuuluviksi luetaan erilaiset meluvallit. Vallit ovat yleisesti ensisijainen melueterakenne. Ne ovat seinärakenteita halvempia, ja lisäksi ne ovat ulkonäöllisesti usein selvästi miellyttävämpiä. Lisäksi valleihiin ei varsinaisesti voida kohdistaa ilkivaltaa, joka on muiden melueterakenteiden suuri ongelma. Meluvallien suurimpana ongelmana onkin niiden vaatima tila. Jotta meluvallilla saavutettaisiin meluseinän kaltainen vaimennusteho, on se rakennettava seiniä korkeammiksi. /54,56/

Melueterakenteiden sijoittamiseen ja ulkonäköön kiinnitetään nykyään enenevässä määrin huomioita. Usein alueen asukkaat voivat ottaa osaa melueterakenteiden suunnitteluun. Rakenteet ovat monimuotoisia ja -värisiä ja niitä pyritään keventämään istutuksin. Ne tarjoavat suojaa tien vierialueille, estävät roiskeita ja tapauskohtaisesti myös parantavat kevyen liikenteen turvallisuutta. Toisaalta ne estävät ja varjostavat. Eräs varsin kiusallinen seikka on melueterakenteisiin kohdistuva ilkivalta (kuva 72). Esteettisesti miellyttäväkin este saattaa varsin nopeasti muuttua ikävän näköiseksi. Ulkonäöllisen harmin lisäksi töhrimisellä on varsin suuret taloudelliset vaikutukset. Töhrintää pyritään ehkäisemään istutuksin, suojaverkoin ja erilaisin pinnoittein. Varsin usein esteitä joudutaan kuitenkin puhdistamaan mekaanisesti ja kemiallisesti säännöllisin väliajoin.



Kuva 72. Meluseinään kohdistunutta ilkivaltaa

Meluesterakenteiden kustannukset vaihtelevat varsin voimakkaasti eri rakennetyyppi- vaihtoehtojen kesken. Toisaalta myös valitun rakennetyyppivaihtoehdon kustannukset voivat vaihdella melko suuresti tilannekohtaisesti. Kustannusten laskentatavan mukaan suurimmat kustannuserot syntyvät meluvallien kesken. Paikoitellen voidaan meluvallien rakentamisella saavuttaa jopa konkreettinen kustannussäästö, jos ylijäämä- massojen läjitys kaatopaikalle voidaan välttää sijoittamalla massat meluvalleihin. Mui- den meluesterakenteiden kustannusvaihtelu on pienempää. Seuraavassa on esitetty suuntaa-antavia kustannuksia eri rakennetyypeille (1997): /51/

- meluseinä	noin 1000...2000 mk/m ²
- meluvalli	noin 500...1000 mk/jm
- melukaide	noin 800...2000 mk/jm

Tapauskohtaisesti yksikkökustannukset saattavat vaihdella edellä esitetystä. Poikkeaa- vat rakenne- ja ulkonäköratkaisut nostavat hintaa (kuva 73). /51/



Kuva 73. Meluaitaa Hämeenlinnassa valtatiellä 3

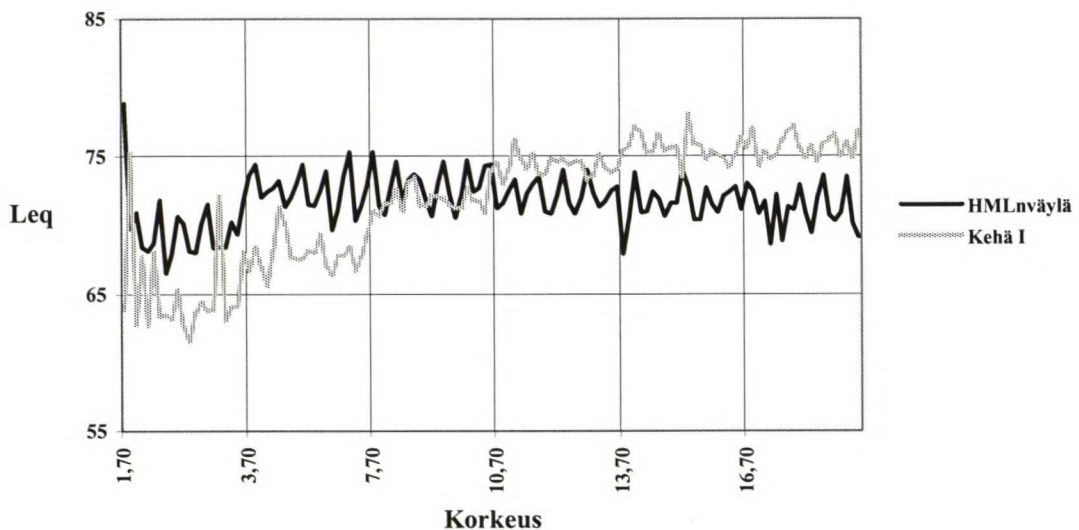
Teknillisen korkeakoulun tielaboratorion tekemässä tutkimuksessa tarkasteltiin ekvi- valenttimelutasoa kahdessa kohteessa, joista vain toisessa oli meluaita. Tarkoituksena oli selvittää meluseinän vaimennustehoa eri korkeuksilla tien lähialueen kerrostaloissa vertailemalla mittaustuloksia keskenään. Alun perin mittaukset oli suunniteltu suori- tettavan kerrostalojen tuuletusparvekkeilta. Työn kiireellisyyden vuoksi sopivia koh- teita ei löydetty ja niinpä mittauksessa käytettiin henkilönosturia. Lähtökohtana

tutkimukselle oli ajatus siitä, että lähellä tietä sijaitsevien kerrostalojen ylimpien kerrosten melutasoon ei meluseinällä ole vaikutusta. Tutkittavat kohteet olivat: /14/

- **Hämeenlinnan väylä**, Kivihaantien pohjoispää, ei meluaitaa
- **Kehä I**, Rapakivenkuja, meluseinän korkeus noin 2,5 m

Mittaukset suoritettiin kymmenen minuutin ekvivalenttitasomittauksin kuudella eri korkeudella välillä 1,7...16,7 metriä. Kuvassa 74 on esitetty mittaustulokset kohteittain. Kunkin korkeusaseman välinen käyrä edustaa 10 minuutin ekvivalenttimelutasomittausta.

EKVIVALENTTIMELUTASO, Hämeenlinnanväylä ja Kehä I



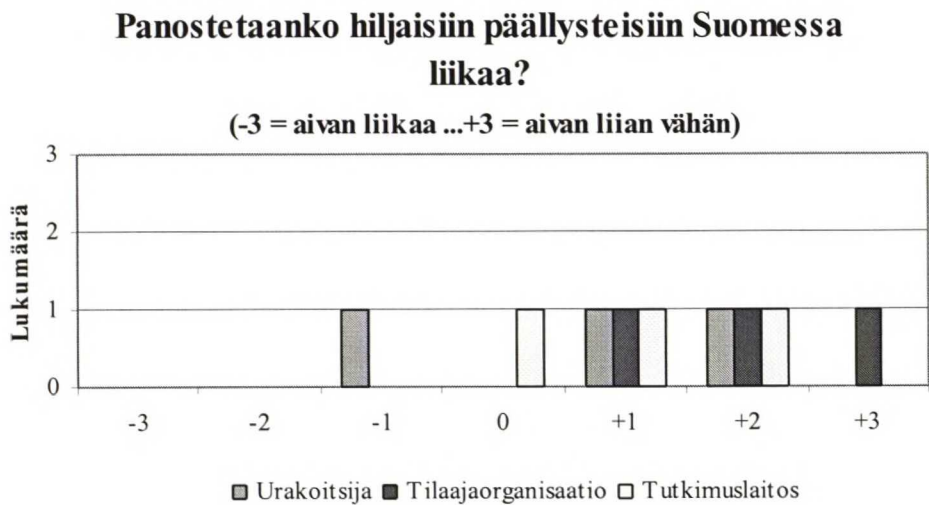
Kuva 74. Ekvivalenttimelutasot eri korkeuksilla /14/

Käyriä on tarkastelun helpottamiseksi mukautettu siten, että molempien ekvivalenttimelutasojen keskiarvo on sama. Alunperin mittaukset oli tarkoitus suorittaa samalla etäisyydellä tien reunasta. Henkilönosturin vaatiman tilan vuoksi mittauasetäisyydet erosivat toisistaan selvästi. Hämeenlinnanväylällä mittauasetäisyys oli 20 metriä ja Kehä I:llä 36 metriä. Huolimatta erilaisista mittauasetäisyyksistä, saatiin tutkimukselle odotetun kaltainen tulos. Kehä I:llä ekvivalenttimelutaso nousee korkeuden kasvaessa ja on ylimmässä asemassaan noin 10 dB(A) suurempi kuin 1,7 metrin korkeudessa. Tulosten perusteella voidaan todeta meluseinän vaikutuksen olevan voimakkaasti korkeusasemasta riippuvainen. Melulähteeseen vaikuttamalla, esimerkiksi hiljaisiin päällystein, voidaan melutasoa laskea koko tarkasteluympäristössä. /14/

9 KYSELY HILJAISISTA PÄÄLLYSTEISTÄ

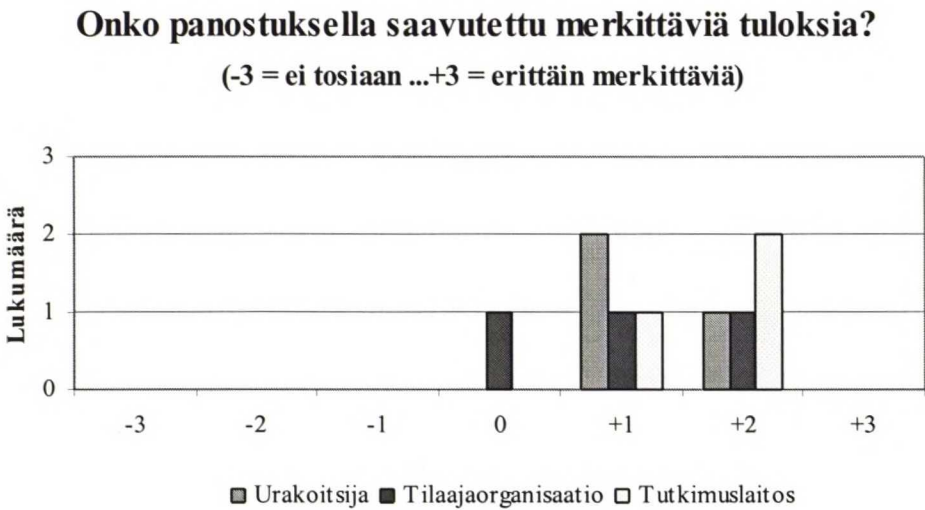
Näkemykset hiljaisten päällysteiden tulevaisuudesta vaihtelevat yleisesti varsin voimakkaasti henkilön aseman ja organisaation mukaan. Objekttiivisen näkemyksen saamiseksi suoritettiin kyselytutkimus keskeisistä hiljaisiin päällysteisiin liittyvistä seikoista. Otos oli varsin suppea, se koostui yhteensä yhdeksästä urakoitsijan, tilaajan ja tutkimuslaitoksen edustajasta. Pienestä otoskoosta huolimatta tuloksista (kuvat 75-86) saa melko hyvän käsityksen eri tahojen mielipiteistä hiljaisten päällysteiden tutkimuksen ja tulevaisuuden suhteen.

Kuten edellä hiljaisten päällysteiden tutkimusta käsittelevästä luvusta (luku 7) käy ilmi, on panostus hiljaisiin päällysteisiin ollut viimeisten parin vuoden aikana varsin voimakasta. Suurimmat asfalttiurakoitsijat ovat kehittäneet omia päällystetuotteitaan ja HILJA-projekti on mahdollistanut niiden testauksen käytännössä. Lisäksi hiljaisten päällysteiden ominaisuuksien mittausten menetelmiä on pyritty kehittämään paremmin tulevaisuuden tarpeita etenkin toiminnallisten ominaisuuksien perusteella tapahtuvaa tilaamista vastaaviksi. Kiinnostus hiljaisiin päällysteitä kohtaan on ollut suurta niin urakoitsijoiden, tilaajaorganisaatioiden kuin tutkimuslaitostenkin osalta. Toisaalta kehitystyötä sekä hiljaisten päällysteiden tutkimusta on ajoittain pidetty myös turhana ja hiljaisiin päällysteitä täysin sopimattomina Suomen oloihin. Ensimmäisen kysymyksen (kuva 75) tarkoituksena olikin selvittää eri tahojen näkemyksiä panostuksesta hiljaisiin päällysteisiin. Tuloksia ei voitane pitää millään lailla yllättävinä. Urakoitsijoiden osalta tutkimus- ja kehitystoiminta sitoo resursseja, eikä panostukselle ainakaan lyhyellä aikavälillä voida varmasti osoittaa tuottoa. Toisaalta tilaajaorganisaatioiden osalta suurempi panostus vastaavasti tarjoaisi tulevaisuudessa mahdollisuuden tilata entistä parempia ja etenkin hiljaisempia päällysteitä



Kuva 75. Kysely: Panostetaanko hiljaisiin päällysteisiin Suomessa liikaa?

Toisen kysymyksen (kuva 76) vastaukset osaltaan puoltavat hiljaisiin päällysteisiin panostamista. Vastauksista voidaan havaita panostuksella saavutetun myös merkittäviä tuloksia, joista keskeisin lienee hiljaisten päällysteiden nastarengaskulutuskestävyyden kasvu. Mielenpitoet jakautuvat tämän kysymyksen osalta melko tasan eri tahojen kesken.



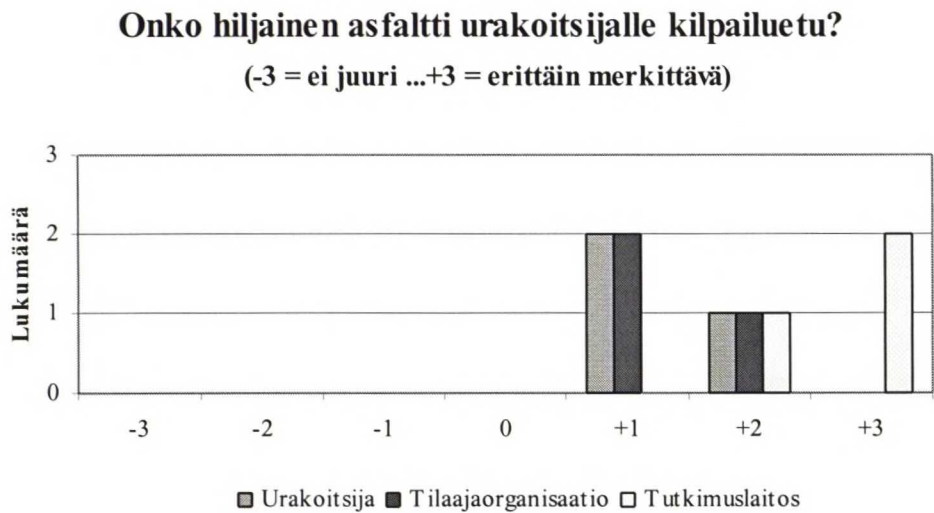
Kuva 76. Kysely: Onko panostuksella saavutettu merkittäviä tuloksia?

Seuraava kysymys (kuva 77) selvitti mielenpitoita hiljaisten päällysteiden vaikutuksesta asfalttialan ainakin aiemmin hieman mustaan ja savuiseen ympäristöimagoon. Vastaukset osoittavat vaikutuksen olevan ilmeisen positiivinen.



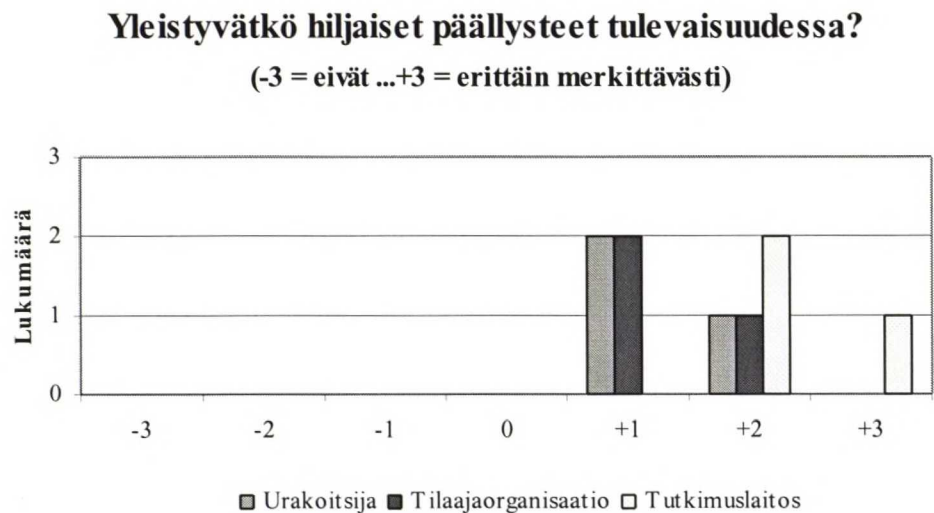
Kuva 77. Kysely: Onko hiljaisiin päällysteisiin panostaminen parantanut asfalttialan ympäristöimagoa?

Asfalttialan urakoitsijoiden välinen kilpailu tulee lähivuosina Tielaitos-uudistuksen vuoksi entisestään kovenemaan. Vastausten (kuva 78) valossa hiljainen päällyste on urakoitsijalle kilpailuetu.



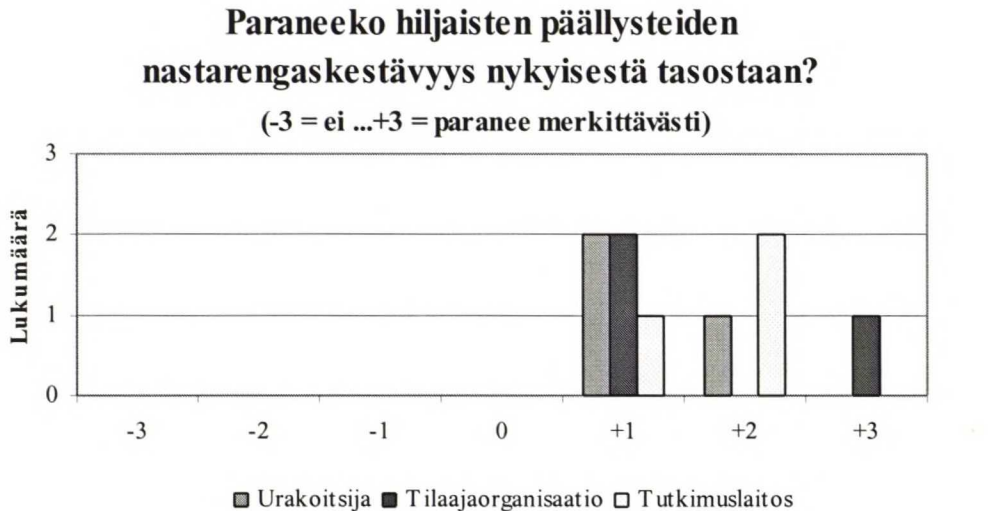
Kuva 78. Kysely: Onko hiljainen asfaltti urakoitsijalle kilpailuetu?

Seuraava kysymys (kuva 79) on koko tuotekehitys- ja tutkimustoiminnan kannalta erittäin keskeinen. Ilman niitä hiljaisia päällysteitä tuskin edes olisi Suomen teillä ja kaduilla. Toisaalta ilman hiljaisten päällysteiden yleistymistä uhraukset tutkimukseen ja kehitykseen voitaisiin katsoa turhiksi. Vastaukset antavat kuitenkin selvästi olettaa hiljaisten päällystekilometrien yleistyvän tulevaisuudessa.



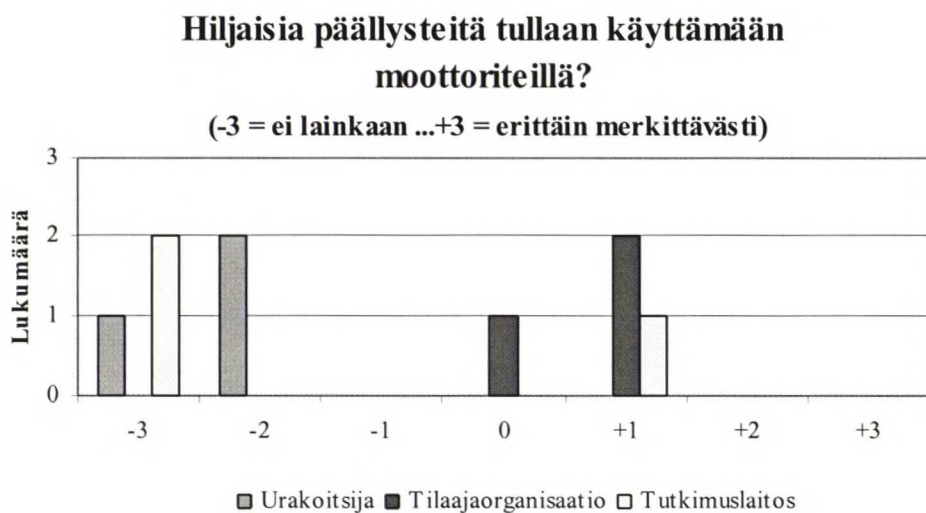
Kuva 79. Kysely: Yleistyvätkö hiljaiset päällysteet tulevaisuudessa?

Kysymys hiljaisten päällysteiden nastarengaskulutuskestävyyden kasvusta (kuva 80) on ainakin joissain tapauksissa edellytys päällysteiden yleistymiselle. Kuten aiemmin on todettu, on hiljaisten päällysteiden kestävyys parantunut merkittävästi sitten ensikokeilujen. Toisaalta tarve ja myös usko kestävyiden paranemiseen on edelleen olemassa kuten vastauksetkin antavat ymmärtää.



Kuva 80. Kysely: Paraneeko hiljaisten päällysteiden nastarengaskestävyys nykyisestä tasostaan?

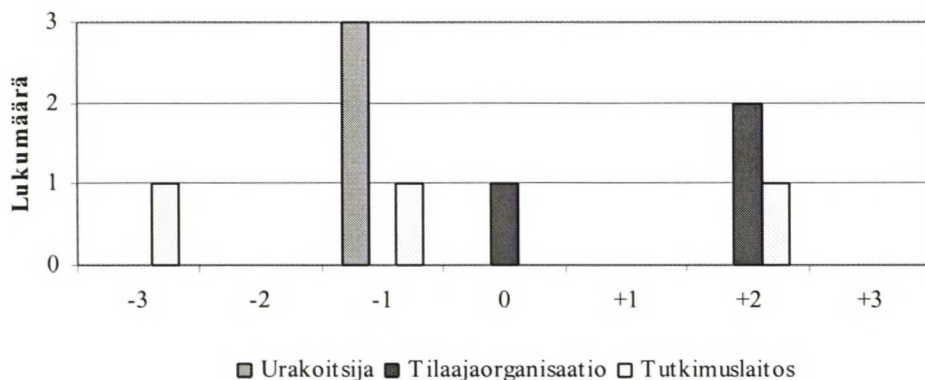
Seuraavat kysymykset (kuvat 81-85) kartoittavat mielipiteitä hiljaisten päällysteiden tulevista käyttökohteista. Moottoriteille hiljaisia päällysteitä ei ainakaan urakoitsijoiden näkökulmasta tulla käyttämään (kuva 81), vaikkei tilaajaorganisaatioiden käsitys asiasta olekaan yhtä kielteinen. Valtateiden osalta käsitykset eivät ole yhtä kielteisiä. Toisaalta on havaittavissa selviä mielipide-eroja (kuva 82).



Kuva 81. Kysely: Hiljaisia päällysteitä tullaan käyttämään moottoriteillä?

Hiljaisia päällysteitä tullaan käyttämään valtateilla?

(-3 = ei lainkaan ...+3 = erittäin merkittävästi)

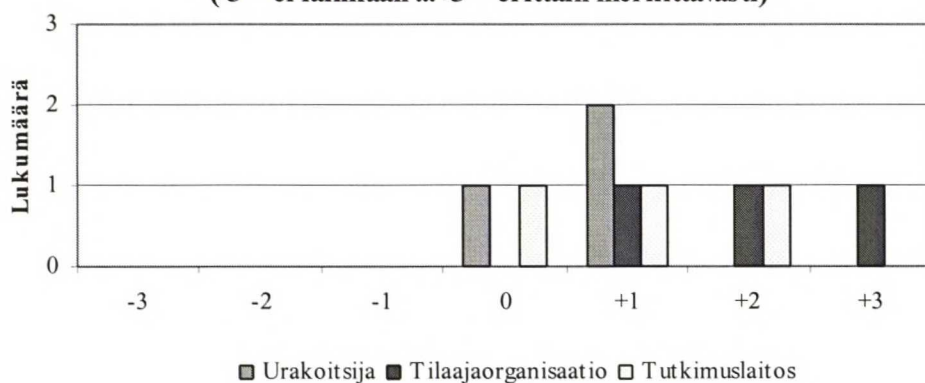


Kuva 82. Kysely: Hiljaisia päällysteitä tullaan käyttämään valtateilla?

Vastausten yksimielisyys tulee esiin puhuttaessa kaupunkien keskustoista, taajamista ja asuinalueista (kuvat 83, 84 ja 85). On ilmeistä, että mikäli hiljaiset päällysteet yleistyvät tulevaisuudessa, ovat juuri tällaiset alemman nopeusrajoituksen tiet ja kadut keskeisiä käyttökohteita. Lisäksi on tietysti muistettava päällysteiden pääasiallinen tarkoitus laskea tieliikenteestä aiheutuvaa melutasoa. Käyttökohteen tieliikennemelun vaikutusalueella on siis oltava melulta suojattavia kohteita. Ennen kaikkea kyseeseen tulevat asuinalueet.

Hiljaisia päällysteitä tullaan käyttämään kaupunkien keskustoissa?

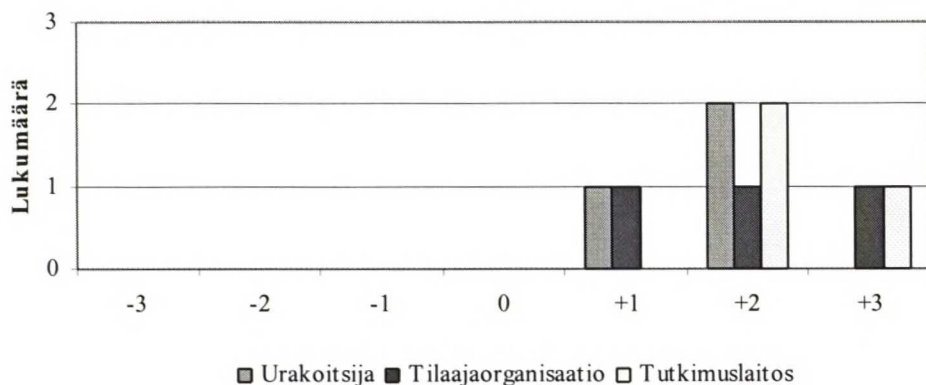
(-3 = ei lainkaan ...+3 = erittäin merkittävästi)



Kuva 83. Kysely: Hiljaisia päällysteitä tullaan käyttämään kaupunkien keskustoissa?

Hiljaisia päällysteitä tullaan käyttämään taajamissa?

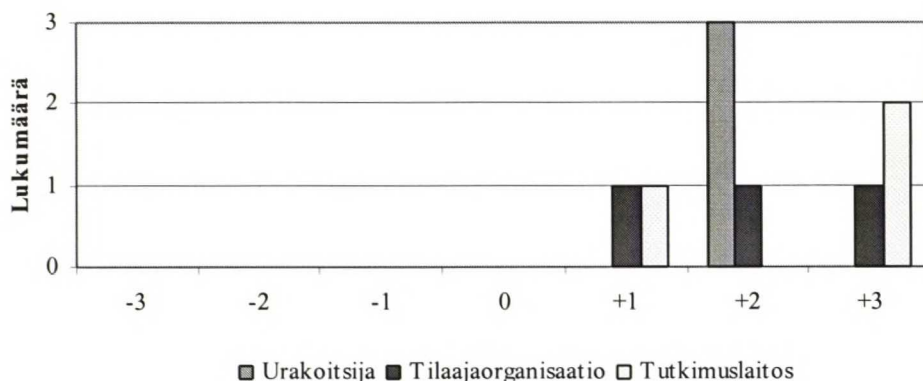
(-3 = ei lainkaan ...+3 = erittäin merkittävästi)



Kuva 84. Kysely: Hiljaisia päällysteitä tullaan käyttämään taajamissa?

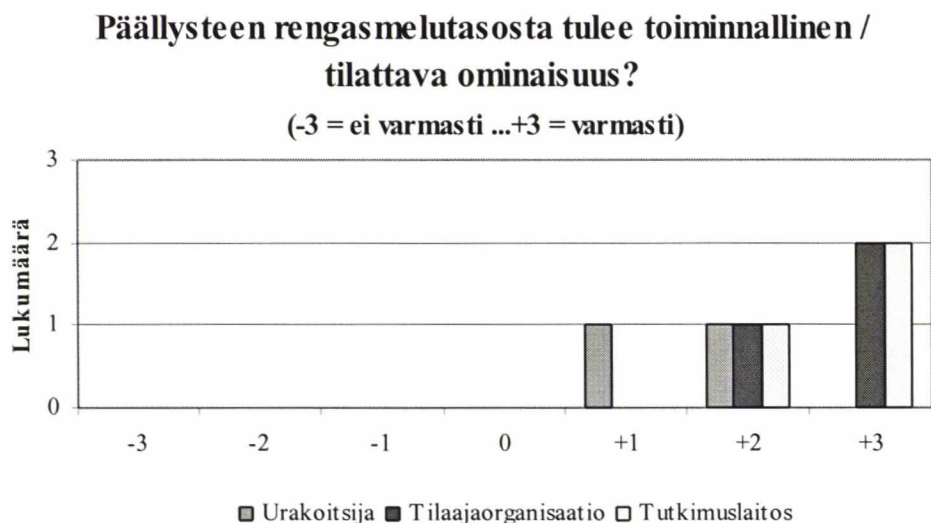
Hiljaisia päällysteitä tullaan käyttämään asuinalueilla?

(-3 = ei lainkaan ...+3 = erittäin merkittävästi)



Kuva 85. Kysely: Hiljaisia päällysteitä tullaan käyttämään asuinalueilla?

Viimeinen kysymys (kuva 86) käsitteli rengasmelutasoa päällysteen toiminnallisena ominaisuutena. Asfalttialan tilauskäytäntö on menossa kohti toiminnallisiin ominaisuuksiin perustuvaa menettelyä. Onko siis myös rengasmelutasosta tulossa toiminnallinen ominaisuus? Vastausten perusteella ainakin on. Menettely rengasmelutason osalta edellyttää kuitenkin mittausmenetelmien kehittämistä tarkoitustaan vastaaviksi. Tämä onkin yksi HILJA-projektin keskeisiä tavoitteita.



Kuva 86. Kysely: Päällysteen rengasmelutasosta tulee toiminnallinen / tilattava ominaisuus?

Kokonaisuutena kyselytutkimus antoi valoisan kuvan hiljaisten päällysteiden tulevaisuudesta. Ja ainakaan kyselyn perusteella ei hiljaisten päällysteiden yleistymiselle näyttäisi olevan esteitä. Lisäksi on huomattava tuotekehityksellä saavutetut tulokset. Tulevaisuudessa hiljaiset päällystetuotteet ovat ominaisuuksiltaan vielä entistä parempia ja entistä potentiaalisempia vaihtoehtoja tavanomaisille päällysteille.

10 YHTEENVETO

Tutkimuksen tausta

Tieliikenteestä aiheutuva melu koetaan nyky-yhteiskunnassa vakavaksi ongelmaksi. Tulevaisuudessa tilanne tulee entisestään pahenemaan liikennesuoritteen kasvaessa ja ennen kaikkea sen keskittyessä yhä tiiviimmin kasvukeskusten ympäristöön. Meluhaittoihin on viime vuosina myös kansalaisten taholta ruvettu kiinnittämään yhä enenevässä määrin huomiota. Tieliikenteen meluhaittojen vähentäminen ei kuitenkaan ole ongelmatonta. Tiiviisti rakennettu yhteiskunta ei anna mahdollisuuksia tehokkaiden maankäyttöisten keinojen hyväksikäytölle. Meluhaittoja onkin pyritty vähentämään pääasiassa melusuojarakentein. Haittavaikutuksilta suojaamisen sijasta olisi kuitenkin aina ensisijaisesti pyrittävä vaikuttamaan itse melun lähteeseen. Kiinnostus tieliikenteen melun lähteisiin onkin viime vuosina lisääntynyt huomattavasti. Arviot kokonaismelun koostumuksesta ja sen osatekijöillä vaikuttamisen mahdollisuuksista vaihtelevat. Yleisesti päällysteteknologian vaikutusmahdollisuuksia pidetään kuitenkin hyvinä. Niinpä useiden ulkomaiden lisäksi myös Suomessa kiinnostus hiljaisia päällysteitä kohtaan on viime vuosina kasvanut erittäin voimakkaasti.

Tutkimuksen tavoitteet ja menetelmät

Tämän tutkimuksen tavoitteena on ollut kerätä hiljaisiin päällysteisiin liittyvää tietoutta, selvittää hiljaisten päällysteiden ominaisuuksien kannalta keskeisiä mittausmenetelmiä ja ennen kaikkea koota yhteen Suomessa tehtyjen tutkimusten tuloksia.

Menetelmien osalta voidaan koko tutkimuksen sanoa perustuvan lähes yksinomaan erilaisista kirjallisista lähteistä tehtyihin selvityksiin. Toisaalta tekijän kannalta tutkimus perustuu kirjallisuusselvityksen lisäksi myös satojen tuntien työllä hankittuihin mittaustuloksiin. Keskeistä on se, ettei tätä nimenomaista tutkimusta varten ole tehty enää mitään laboratorio- tai kenttätutkimuksia. Työ on mittaustulosten osalta ollut pääasiassa Teknillisen korkeakoulun tielaboratorion aiempien hiljaisiin päällysteisiin liittyneiden tutkimusten sekä HILJA-projektin alkuvaiheen tulosten kokoamista yhteen. Lisäksi tutkimukseen on liittynyt pienimuotoinen kyselytutkimus, jolla on pyritty selvittämään eri tahojen näkemyksiä hiljaisten päällysteiden tulevaisuuden kannalta keskeisistä asioista.

Hiljaisten päällysteiden melutasot

Hiljaisena päällysteenä on tässä tutkimuksessa käsitelty kaikkia niitä päällysteitä, joiden toiminnallisessa suhteituksessa on pyritty normaalia alhaisempaan rengasmelutasoon. Vastaavasti tavanomaisina päällysteinä on pidetty Suomen oloissa tyypillisesti käytettyjä päällystetyyppejä. Hiljaisten ja tavanomaisten päällysteiden vertailun mahdollistamiseksi on koeteille on rakennettu referenssiosuudet tavanomaisista päällysteistä (SMA 16 ja SMA 18). Hiljaisten päällysteiden tärkeintä ominaisuutta, tavanomaista päällystettä alhaisempaa melutasoa, on tutkittu Suomessa erityisesti HILJA-

projektin myötä useilla erilaisilla menetelmillä. Tutkimustulokset osoittavat hiljaisten päällysteiden olevan uutena rengasmelutasoltaan selvästi, jopa 10 dB(A), tavanomaista päällystettä hiljaisempia. Myös ajoneuvon synnyttämää kokonaismelua mittaavalla SPB-menetelmällä on saavutettu rohkaisevia tuloksia. Suurimmillaan ero tavalliseen päällysteeseen on ollut lähes kuusi desibeliä. Yhden talven jälkeen tehtyjen mittausten tulokset ovat kuitenkin valitettavasti osoittaneet myös nastarengaskulumisen varsin haitallisen vaikutuksen päällysteiden meluominaisuuksiin. Rengasmelutasot ovat nousseet kaikilla koepäällysteillä. Suurimmillaan kasvu on ollut lähes seitsemän desibeliä.

Hiljaisten päällysteiden kuluminen

Tutkimuksessa esitetyt melumittaustulokset osoittavat hiljaisten päällysteiden selvästi tavanomaisia päällysteitä, SMA 16 ja SMA 18, alhaisemman melutason. Vastaavasti tutkimustuloksista voidaan havaita hiljaisten päällysteiden kulumisominaisuuksien olevan keskimääräisesti selvästi tavanomaisia päällysteitä huonommat. Koepäällysteiden erot kulumisnopeuden ja myös meluominaisuuksien suhteen ovat kuitenkin varsin suuria. Kaarinan koetiellä yksi hiljainen päällyste kului jopa referenssipäällystettä vähemmän. Toisaalta suurimmillaan kuluminen referenssipäällysteeseen nähden on ollut noin kymmenkertaista. On kuitenkin muistettava useiden koepäällysteiden olevan täysin uusia tuotteita tai ettei niitä ole aiemmin käytetty Suomessa. Verrattuna vuosituhtaan vaihteen kulumistutkimuksiin ovat tulokset kuitenkin osoittaneet hiljaisten päällysteiden keskimääräisen nastarengaskestävyyden parantuneen viime vuosina selvästi. Tällä voidaan perustellusti olettaa olevan vaikutus myös meluominaisuuksien säilymiseen. Kokonaisuutena hiljaisten päällysteiden kulutuskestävyyden paraneminen tekee niistä entistä varteenotettavampia vaihtoehtoja tavanomaiselle päällysteelle.

Päällysteen ominaisuuksien mittausmenetelmät

Hiljaisten päällysteiden tutkimus- ja kehitystoiminta on tuonut asfalttialalle uusia mittausmenetelmiä. Näiden pääasiassa päällysteen meluominaisuuksia määrittävien menetelmien käyttökokemus on kuitenkin vielä vähäistä, eikä niiden käyttö esimerkiksi päällysteiden ominaisuuksien luokitteluun ole vielä perusteltua. HILJA-projekti onkin asettanut tavoitteekseen kehittää hiljaisille päällysteille toiminnalliset laatuvaatimukset ja niiden mittausmenetelmät. Erityisesti melumittausten osalta tämä edellyttää paikasta riippumattoman mittausmenetelmän määrittelyä.

Hiljaisten päällysteiden tulevaisuus

Työn lopuksi on todettava hiljaisten päällysteiden olevan siis vielä uusi asia Suomessa. Jo tähän mennessä tutkimus- ja kehitystoiminnalla on kuitenkin saavutettu rohkaisevia tuloksia, eikä varsinaisia esteitä hiljaisten päällysteiden yleistymiselle Suomessa ole näköpiirissä. Toisaalta esimerkiksi liikenneturvallisuuteen mahdollisesti vaikuttavat seikat vaativat vielä lisäselvitystä. Tulevaisuudessa huoli tieliikenteen aiheuttamien meluhaittojen kasvusta tulee varmasti pitämään yllä kiinnostuksen hiljaisiin päällysteitä kohtaan. Tällä hetkellä hiljainen päällyste on vielä melko harvinainen meluntorjunta-

ratkaisu. Kuitenkin aiemmin tässä työssä esiteltyjen koekohteiden lisäksi ne alentavat melutasoja jo ainakin Helsingissä, Espoossa, Lohjalla, Kirkkonummella, Klaukkalassa, Kangasalla, Nurmijärvellä, Pornaisissa, Tuusulassa, Vaasassa ja Jyväskylän seudulla.

KIRJALLISUUSLUETTELO

1. Abbott P G, Phillips S M; Factors affecting Statistical Pass-by measurements; The 2001 International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering; Internoise 2001; The Hague, The Netherlands 2001
2. Alkio R; Prall- ja SRK-menetelmien vertailtavuus minikoetiekulumiin; Tiehallinto, sisäisiä julkaisuja 29/2001
3. Anila M, Unhola T; Melu-, kitka- ja heijastuvuusmittaukset; VTT, Tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorio n:o 132; ASTO; Espoo, joulukuu 1992
4. Anttila O; Tiehallinto, tie- ja liikennetekniikka; Ajoneuvon, renkaan ja tienpinnan melun mittausten menetelmät, muistio
5. Borenus J, Jauhiainen T, Lampio E, Nuotio J, Pesonen K, Pyykkö I; Akustiikan perusteet; Insinööritieto Oy, 1981
6. Braess, Seiffert; Viewig Handbuch Kraftfahrzeugtechnik, 2000
7. Child S, Hicks B; Colsoft- the Quiet road surface coating; Highway and Transportation, November 2000
8. Denker D; Rollgeräusch und fahrsicherheit; VDI Berichte NR: 778, 1989
9. Domenichini L, Francassa A, La Torra F, Loprencipe G, Renzo A, Scalamandre A; Relationship Between Road Surface Characteristics and Noise Emission; Paper 99.03; 1st International Colloquium on Vehicle Tyre Road Interaction; TINO project, Rome 1999
10. Forsten L; Melua vähentävät päällysteet; Asfaltti; Asfalttiliitto Ry:n julkaisu nro 67, kesäkuu 2001
11. Greibe P A; Porous asphalt and traffic safety, konferenssiesitelmä; Ninth International Conference on Asphalt Pavements; Kööpenhamina, Tanska 2002
12. Hamet J F, Klein P, Anfosso F, Duhamel D, Fadavi A, Beguet B; Road profile Texture and Tire Noise; Pavement Surface Characteristics IVth International Symposium "SURF 2000"; Nantes 2000
13. Hyypä I, Kelkka M; HILJAISET PÄÄLLYSTEET (HILJA); päällysteiden kulumisraportti, kevät 2002; Teknillinen korkeakoulu, tielaboratorio T122
14. Hyypä I, Valtonen J; Ekvivalenttimelutaso eri korkeuksilla; tutkimusraportti, 2001; Teknillinen korkeakoulu, tielaboratorio T107
15. Hyypä I, Valtonen J; Melua vähentävien päällysteiden vaikutus ympäristömeluun; kulumisraportti, 2001; Teknillinen korkeakoulu, tielaboratorio T112
16. ISO; Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part1: Statistical Pass-By Method ISO-11819-1:1997
17. Isoniemi P; Liikennemelun vähentäminen asfalttipäällysteillä; Kuntateknikka, 6/2000
18. Karlsson H; Testmetoder för oljegrus; diplomityö, Espoo 1989
19. Kelkka M, Hyypä I, Raitanen N; HILJAISET PÄÄLLYSTEET (HILJA); väli- raportti, kevät 2002; Teknillinen korkeakoulu, tielaboratorio T120

20. Kelkka M, Valtonen J; Asfalttipäällysteiden deformatumisen vähentäminen; vä-
liraportti, 1999; Teknillinen korkeakoulu, tielaboratorio T84
21. Komulainen K, Paananen J; Hiljainen päällyste - meluntorjunnan keinona; Tiera-
kennusmestari, 4/2000
22. Komulainen K, Paananen J; Kesän uutuudet, hiljainen ja valkoinen; Lukema
4/2000
23. Komulainen K, Puttonen M, Kärkkäinen T, Nyberg C; Ympäristömelun vähen-
täminen asfalttialan haasteena; Asfaltti; Asfalttiliitto Ry:n julkaisu nro 69, kesä-
kuu 2002
24. Kärkkäinen T; Haastattelu Fortum Oyj:n kulutusradasta, 2002
25. Lampinen A; AL-PROFILOMETRI (4,0 M); käyttöohje, versio 2; 1999
26. Lampinen A; Kestopäällysteiden urautuminen; VTT, tie- geo- ja liikennetekniikan
laboratorio; Espoo 1993
27. Malmivuo M, Mäkinen T; Talvirengastutkimus 2000-2001; Tiehallinnon selvi-
tyksiä 34/2001
28. Mancosu and TINO team; TINO Project: an Overview; Paper 99.01; 1st Interna-
tional Colloquium on Vehicle Tyre Road Interaction, Rome 1999
29. Nelson P M, Phillips S M; Quieter Road Surfaces; TRL Annual Review 1997
30. Nevala R; Melua vähentävät päällysteet; Tietekniikan kirjallisuustutkimus; Tek-
nillinen korkeakoulu, tielaboratorio; Espoo 2000
31. NKTF; Lågbullerbeläggningar -ett nordiskt samarbetsprojekt under NKFT;
Nordiske Seminar- og Arbejds- repporter, 1993:603
32. PANK ry, Valtion teknillinen tutkimuskeskus; LOPPURAPORTTI, Asfaltti-
päällysteiden tutkimusohjelma ASTO 1987-1992, Espoo 1993
33. Partek Oy; Äänikirja 1991
34. Phillips S; Developments and experience with the testing of the acoustic per-
formance of asphalt surfaces, konferenssiesitelmä; Ninth International Confer-
ence on Asphalt Pavements, Kööpenhamina, Tanska 2002
35. Promethor Oy; Tieliikennemelun mittausraportti, osat 1-4; Turku 2000-2001
36. Päällystealan neuvottelukunta; PANK-menetelmät, menetelmäohjeet
37. Raitanen N, Hyypä I; Hiljaiset tien ja kadun asfalttipäällysteet; kirjallisuusselvi-
tyt; Teknillinen korkeakoulu, tielaboratorio, 2001
38. Raitanen N; Hilja-projekti; Kesän 2001 SPB-mittaukset ja vertailu CPX-
mittauksiin; Teknillinen korkeakoulu, tielaboratorio, 2002
39. Reihe M; Hiljainen asfaltti, luentotiivistelmä; Päällystekurssit 2000
40. Reihe M; Toiminnallisella urakoinnilla uusiin päällysteratkaisuihin, tilanne Suo-
messä, Tiehallinto; PTL 33:n seminaari, Espoo 2002
41. Sainio P; Hilja-projekti; CPX-tulokset; Teknillinen korkeakoulu, autotekniikan
laboratorio, 2002
42. Sainio P; Renkaan ja tienpinnan kosketuksesta syntyvän melun mittaaminen; Au-
toalan rengaspäivä, Espoo 2000

43. Sandberg U, Descornet G; Road surface influence on tire/road noise; Internoise, Miami 1980
44. Sandberg U, Ejsmont J A; Tyre/Road Noise Reference Book, 2002
45. Sandberg U; Design and Maintenance of Low Noise Road Surface; Paper Presented at the Third International Symposium on Pavement Surface Characteristics; Christchurch, New Zeland 1996
46. Sandberg U; Low Noise Road Surfaces - A State-of-the-Art Review; Reprint from the Journal (E) of the Acoustical Society of Japan, Vol 20, No.1 (1999)
47. Sandberg U; Rengas/tiemelu - myytit ja todellisuus; Asfaltti; Asfalttiliitto Ry:n julkaisu nro 68, joulukuu 2001
48. Sandberg U; Tyre/road noise - Myths and realities; The 2001 International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering; Internoise 2001; The Hague, The Netherlands 2001
49. Seppänen V; Hiljainen päällyste SMA 6 vai kestävä päällyste SMA 16, elinkaarikustannusten vertailu; asfalttialan palautepäivät 2000
50. Silfverberg L; Liikennemelu huomioon kaavoituksessa; LIME-työryhmän mietintö 2001
51. Suomen kuntatekniikan yhdistys; Melustekäsikirja, julkaisu 18/97
52. Suomen tieyhdistys ry; Tutkimusajoneuvo päällysteen ja renkaan melumittauksiin; Tie ja liikenne, 4/2000
53. Tiehallinto; Tieliikenteen ajokustannukset 2000, suunnitteluvaiheen ohjaus
54. Tielaitos, Tiehallitus; Vähemmän melua - opas tiensuunnittelijoille, 1991
55. Tielaitos; Meluesteet, 1993
56. Tielaitos; Ympäristöinvestoinnit tiehankkeissa, 1998
57. Unhola T; Päällysteen nastarengaskuluminen, yliajokoe; VTT, yhdyskuntatekniikka, väylät ja ympäristö; tutkimusesite
58. Valtioneuvosto; Päätös melutason ohjearvoista; Vnp 993/92
59. Valtonen J, Kosonen T, Peltonen P; Melua vähentävien päällysteiden kuluminen; tutkimusraportti, 2000; Teknillinen korkeakoulu, tielaboratorio T94